



TUGAS AKHIR - TE 141599

**EVALUASI *MUTUAL COUPLING* PADA ANTENA
ARRAY *LINEAR RECTANGULAR PATCH* DENGAN
CAVITY BACKED SLOT PADA FREKUENSI *S-BAND***

Ike Agustine Rintami
NRP 2215 105 084

Dosen Pembimbing
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**MUTUAL COUPLING EVALUATION OF LINEAR
ARRAY WITH RECTANGULAR PATCH ELEMENTS
AND CAVITY BACKED SLOT AT S-BAND
FREQUENCY**

Ike Agustine Rintami
NRP 2215 105 084

Supervisors
Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul "*Evaluasi Mutual Coupling pada Antena Linear Rectangular Patch dengan Cavity Backed Slot pada Frekuensi S-Band*" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak sah dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis sesuai lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2017



Ike Augustine Rintami
NRP. 2215105084

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**EVALUASI MUTUAL COUPLING PADA
ANTENA LINEAR RECTANGULAR PATCH DENGAN
CAVITY BACKED SLOT PADA FREKUENSI S-BAND**

TUGAS AKHIR


**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada**

**Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


Prof. Ir. Gamantyo H., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197011111993031002


Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197210012003121002



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**EVALUASI *MUTUAL COUPLING* PADA
ANTENA *LINEAR RECTANGULAR PATCH* DENGAN *CAVITY
BACKED SLOT* PADA FREKUENSI *S-BAND***

Ike Agustine Rintami
2215105084

Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
2. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

ABSTRAK

Seiring dengan berkembangnya teknologi komunikasi, setiap perangkat dituntut untuk mempunyai kinerja yang bagus dan dengan dimensi sekecil mungkin. Salah satunya adalah antenna array. Apabila jarak antar elemen antenna array diperkecil, maka akan memperbesar *mutual coupling* yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi dan mengubah pola radiasi antenna. Untuk mengatasi masalah *mutual coupling* tersebut, maka isolasi antar elemen harus ditingkatkan. Salah satu cara untuk meningkatkan isolasi antar elemen antenna array adalah dengan menambahkan *Cavity Backed Slot* pada sekeliling *patch* antenna.

Pada Tugas akhir ini dirancang 3 buah desain antenna yaitu Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*, Antena Mikrostrip Array, dan Antena Mikrostrip Array dengan *Cavity Backed Slot*. Ketiga antenna tersebut secara berurutan bekerja pada frekuensi 3,01 GHz, 3,03 GHz, dan 3,11 GHz. Pengaruh penambahan *Cavity Backed Slot* pada Antena Mikrostrip Array dievaluasi dengan membandingkan dan menganalisa beberapa parameter kinerja antenna berupa *S-Parameter*, *Bandwidth*, VSWR, Impedansi *Input*, dan Pola Radiasi antenna. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadi penurunan *mutual coupling* sebesar 2,465 dB. Penambahan *Cavity Backed Slot* tidak mengubah pola radiasi dari antenna tetapi dapat mempengaruhi *Bandwidth* dan Impedansi *Input*.

Kata Kunci : Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*, Antena Mikrostrip Array, *Cavity Backed Slot*, *Mutual coupling*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

MUTUAL COUPLING EVALUATION OF LINEAR ARRAY WITH RECTANGULAR PATCH ELEMENTS AND CAVITY BACKED SLOT AT S-BAND FREQUENCY

Ike Augustine Rintami
2215105084

Supervisor : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D.
2. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.

ABSTRACT

As the development of communication technology, every device is required to have good performance and with dimensions as small as possible. One is the antenna array. When the distance between the antenna elements of the array is minimized, it will be mutual reciprocity which can lead to decreased efficiency and changes in antenna radiation pattern. To overcome the problem of lead coupling, then the insertion between elements must be fixed. One way to improve the antenna element is to add Cavity Backed Slot to the patch antenna scope.

In this final project designed 3 pieces of antenna design that is Antenna Microstrip Rectangular Patch, Microstrip Array Antenna, and Microstrip Array Antenna with Cavity Backed Slot. The three antennas work on a frequency of 3.01 GHz, 3.03 GHz and 3.11 GHz, respectively. Effect of Cavity Backed Slot Speed on Microstrip Antenna Arrays are evaluated by comparing and analyzing a number of antenna performance parameters. S-Parameters, Bandwidth, VSWR, Input Impedance, and Radiation Pattern of the antenna. The measurement results show the occurrence of mutual coupling of 2.465 dB. The addition of Cavity Backed Slot does not change the radiation pattern of the antenna but can affect the Bandwidth and Input Impedance.

Keywords: Rectangular Microstrip Antenna Patch, Microstrip Array Antenna, Cavity Backed Slot, Mutual Coupling

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, serta tak lupa shalawat serta salam diucapkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasalam, keluarga, sahabat, dan pengikut beliau hingga akhir zaman. Karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan buku Tugas Akhir ini dengan judul :

“Evaluasi *Mutual coupling* pada Antena *Linear Rectangular Patch* dengan *Cavity Backed Slot* Pada Frekuensi *S-Band*”

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan buku Tugas Akhir ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan dan kerjasama dari berbagai pihak, segala kendala dapat teratasi. Untuk itu, penulis menyampaikan banyak terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua, almarhum Ayahanda terkasih, dan *my single fighter* Ibunda tersayang yang selalu memberi dukungan, semangat, perhatian, serta doa kepada penulis.
2. Bapak Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng. Ph.D dan Eko Setijadi, ST, MT, Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas segala bantuan perhatian, dan arahan selama pengerjaan Tuga Akhir ini.
3. Senior S3, Mas Fannush Shofi Akbar yang telah banyak memberikan dukungan moral dan material, meluangkan waktu dan memeberikan ilmunya, serta semangat dan juga doa selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia.
5. Teman-teman *The Sister Hood of 5* : Aurum, Thea, Ummi, dan Vista, Fadli, Efril, Grace dan Nuky yang selalu ada untuk bersenda gurau ketika gundah gulana menghampiri dan selalu meberi semangat serta saling menginspirasi.
6. Teman-teman LJ TMM : Aurum, Mbak Sarah, Mbak Isma, dan Mas Ary, serta teman-teman S1 Reguler TMM : Hilman, Darien, Rizal, Andy, Usman, Rio, Irfan, Hilmi, Papoy, Yasha, Rifqi, Dini, Alif, Yasir, Radifan, Aiman, David, Utha, Toto, Dzakwan, Feris, Kevin, dan Faza, yang saling menginspirasi dan menyemangati di Laboratorium Antena dan Propagasi.

7. Rekan-rekan S2 dan S3 atas segala informasi dan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan buku Tugas Akhir ini.

Buku Tugas Akhir ini belum tentu sepenuhnya sempurna, namun setidaknya penulis berharap bahwa buku ini dapat bermanfaat bagi pembacanya dan dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRAC	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
TABLE OF CONTENTS	xix
DAFTAR GAMBAR	xxiii
DAFTAR TABEL	xxvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.6 Sistematika Penulisan	5
1.7 Relevansi	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1 Antena	7
2.2 Parameter Antena	7
2.2.1 <i>Scattering Parameter (S-Parameter)</i>	7
2.2.2 Koefisien Refleksi	8
2.2.3 <i>Return Loss</i>	9
2.2.4 <i>Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)</i>	10
2.2.5 <i>Bandwidth</i>	10
2.2.6 Pola Radiasi	11
2.2.7 Gain	14
2.2.8 Direktivitas [8]	14
2.2.9 Polarisasi	15
2.3 Antena Mikrostrip	15
2.3.1 Pencatuan Antena Mikrostrip	17
2.3.2 Antena Mikrostrip <i>Rectangular Patch</i>	19
2.3.3 Antena Mikrostrip <i>Cavity Backed U-Slot Patch (CUP)</i> [11]	21
2.4 Antena Array [8]	22
2.4.1 Antena Array <i>Linear</i>	23
2.4.2 Antena Array <i>Planar</i>	26

2.5	<i>Mutual coupling</i> [8].....	27
BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI		29
3.1	Diagram Alir Perancangan	29
3.2	Penentuan Spesifikasi Antena Mikrostrip	32
3.3	Simulasi Antena Mikrostrip	33
3.3.1	<i>Impedance Calculation</i>	33
3.3.2	<i>Boundary Conditions</i>	34
3.3.3	<i>Field Monitors</i>	35
3.3.4	<i>Symmetry Planes</i>	35
3.3.5	<i>Frequency Range Settings</i>	36
3.3.6	<i>Waveguide Port</i>	37
3.4	Optimasi Dimensi Antena <i>Rectangular Patch</i>	37
3.4.1	Simulasi <i>S-Parameter</i>	41
3.4.2	Simulasi VSWR.....	41
3.4.3	Simulasi Impedansi <i>Input</i>	42
3.4.4	Simulasi Pola Radiasi	43
3.4.5	Simulasi <i>Surface Current</i> Antena <i>Rectangular Patch</i> pada Frekuensi 3 GHz.....	44
3.4.6	Rangkumanan Parameter Hasil Simulasi Antena <i>Rectangular Patch</i>	45
3.5	Perancangan Antena Array.....	45
3.5.1	Dimensi Antena Array.....	46
3.5.2	Simulasi <i>S-Parameter</i> Antena Array	48
3.5.3	Simulasi VSWR Antena Array	49
3.5.4	Simulasi Impedansi <i>Input</i> Antena Array	49
3.5.5	Simulasi Pola Radiasi Antena Array pada Frekuensi 3 GHz	50
3.5.6	Simulasi <i>Surface Current</i> Antena Array pada Frekuensi 3 GHz	51
3.5.7	Rangkumanan Parameter Hasil Simulasi Antena Array	52
3.6	Perancangan dan Hasil Simulasi Antena Array CBS	52
3.6.1	Analisis <i>Parameter Sweep</i> pada Desain Antena Array CBS	56
3.6.2	Dimensi Antena Array CBS	58
3.6.3	Simulasi <i>S-Parameter</i> Antena Array CBS	60
3.6.4	Simulasi VSWR Antena Array CBS	61
3.6.5	Simulasi Impedansi <i>Input</i> Antena Array CBS	62
3.6.6	Simulasi Pola Radiasi Antena Array CBS	62

3.6.7	Hasil <i>Surface Current</i> Antena Array CBS	64
3.6.8	Rangkuman Hasil Simulasi Antena Array CBS.....	64
3.7	Prosedur Pengukuran Antena	65
3.7.1	Prosedur Pengukuran <i>S-Parameter</i> , <i>VSWR</i> , <i>Bandwidth</i> , dan Impedansi <i>Input</i>	65
3.7.2	Prosedur Pengukuran Pola Radiasi	68
3.8	Justifikasi <i>Mutual coupling</i>	70
BAB IV_HASIL PENGUKURAN DAN ANALISA.....		73
4.1	Realisasi Antena Mikrostrip	73
4.2	Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip	75
4.1.1	Hasil Pengukuran Antena <i>Rectangular Patch</i>	76
4.1.2	Hasil Pengukuran Parameter Kerja Antena Array	78
4.1.3	Pengukuran Antena Array CBS	80
4.2	Analisa Parameter Kerja Antena Mikrostrip	82
4.2.1	Analisa Parameter Kerja Antena <i>Rectangular Patch</i> ..	83
4.2.2	Analisa Parameter Kerja Antena Array	84
4.2.3	Analisa Parameter Kerja Antena Array CBS	85
4.2.4	Perbandingan Parameter Kerja Antena Array dan Antena Array CBS Hasil Pengukuran	87
BAB V_KESIMPULAN DAN SARAN		91
5.1	Kesimpulan.....	91
5.2	Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA		93
LAMPIRAN.....		95
RIWAYAT PENULIS.....		127

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

TABLE OF CONTENTS

PAGE OF TITLE.....	i
STATEMENT ORIGINALITY OF FINAL PROJECT.....	v
APPROVAL SHEET	vii
ABSTRACT.....	ix
ABSTRACT.....	xi
FOREWORD.....	xiii
TABLE OF CONTENTS.....	xv
TABLE OF CONTENTS.....	xix
TABLE OF FIGURE	xxiii
TABLE OF TABLES.....	xxvii
BAB II PREFACE	1
1.1 Background.....	1
1.2 Problem	2
1.3 Limitation	2
1.4 Purpose	3
1.6 Systematic Report.....	5
1.7 Relevance	5
BAB II BASIC THEORY	7
2.1 Antenna	7
2.2 Antenna Parameter	7
2.2.1 Scattering Parameter (S-Parameter).....	7
2.2.2 Reflection Coefficient.....	8
2.2.3 Return Loss	9
2.2.4 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR).....	10
2.2.5 Bandwidth.....	10
2.2.6 Radiation Pattern.....	11
2.2.7 Gain	14
2.2.8 Directivity [8]	14
2.2.9 Polarization.....	15
2.3 Microstrip Antenna.....	15
2.3.1 Feeding of Microstrip Antenna	17
2.3.2 Microstrip Antenna Rectangular Patch	19
2.3.3 Microstrip Antenna Cavity U-Slot Patch (CUP) [11].	21
2.4 Array Antenna [8].....	22
2.4.1 Linear Array Antenna	23
2.4.2 Planar Array Antenna	26
2.5 Mutual Coupling.....	27
BAB III DESIGN AND IMPLEMENTATION	29

3.1	Flow Chart Design	29
3.2	Decision of Microstrip Antenna Specification	32
3.3	Simulation of Microstrip Antenna.....	33
3.3.1	Impedance Calculation	33
3.3.2	Boundary Conditions	34
3.3.3	Field Monitors	35
3.3.4	Symmetry Planes	35
3.3.5	Frequency Range Settings	36
3.3.6	Waveguide Port	37
3.4	Optimisation of Rectangular Patch Antenna Dimension	37
3.4.1	S-Parameter Simulation.....	41
3.4.2	VSWR Simulation	41
3.4.3	Input Impedance Simulation.....	42
3.4.4	Radiation Pattern Simulation	43
3.4.5	Surface Current of Rectangular Patch Antenna at 3 GHz Frequency Simulation	44
3.4.6	Summary of Rectangular Patch Antenna Simulation Result	45
3.5	Design of Array Antenna	45
3.5.1	Array Antenna Dimension.....	46
3.5.2	S-Parameter of Array Antenna Simulation.....	48
3.5.3	VSWR of Array Antenna Simulation	49
3.5.4	Input Impedance of Array Antenna Simulation.....	49
3.5.5	Radiation Pattern of Array Antenna at 3 GHz Frequency Simulation.....	50
3.5.6	Surface Current of Array Antenna at 3 GHz Frequency Simulation.....	51
3.5.7	Summary of Array Antenna Simulation Result	52
3.5	Design and Simulation Result of CBS Array Antenna.....	52
3.6.1	Analysis of Parameter Sweep from CBS Array Antenna Dimension	56
3.6.2	Dimension of CBS Array Antenna	58
3.6.3	S-Parameter of CBS Array Antenna Simulation	60
3.6.4	VSWR of CBS Array Antenna Simulation	61
3.6.5	Input Impedance of CBS Array Antenna Simulation ..	62
3.6.6	Radiation Pattern of CBS Array Antenna Simulation ..	62
3.6.7	Surface Current of CBS Array Antenna Simulation....	64
3.6.8	Summary of CBS Array Antenna Simulation Result ..	64
3.7	Antenna Measurement Procedure	65

3.7.1	Measurement Procedure of S-Parameter, Bandwidth, VSWR and Input Impedance	65
3.7.2	Measurement of Radiation Pattern.....	68
3.8	Mutual Coupling Justification	70
BAB IV MEASUREMENT RESULT AND ANALYSIS.....		73
4.1	Microstrip Antenna Realization.....	73
4.2	Measurement of Microstrip Antenna.....	75
4.1.1	Measurement Result of Rectangular Patch 76 Antenna.....	78
4.1.2	Measurement Result of Array Antenna	80
4.1.3	Measurement Result of CBS Array Antenna	82
4.2	Analysis of Microstrip Antenna Parameter	83
4.2.1	Analysis of Rectangular Patch Antenna Parameter.....	84
4.2.2	Analysis of Array Antenna Parameter	85
4.2.3	Analysis of CBS Array Antenna Parameter.....	87
4.2.4	Comparison of Array Antenna and CBS Array Antenna Parameter.....	91
BAB V CONCLUSION AND SUGGESTION.....		91
5.1	Conclusion	91
5.2	Suggestion	92
REFERENCE		93
APPENDIX.....		95
BIOGRAPHY		127

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Diagram Tulang Ikan Metodologi Penelitian	6
Gambar 2. 1	Konsep <i>S-Parameter</i> dengan Dua Terminal [6]	7
Gambar 2. 2	Pola Radiasi Antena (a) Plot Polar (b) Plot Cartesian [8]	13
Gambar 2. 3	Struktur Antena Mikrostrip [8]	16
Gambar 2. 4	Macam-macam Bentuk <i>Patch</i> Antena Mikrostrip [8]	17
Gambar 2. 5	Antena Mikrostrip dengan Pencatuan <i>Electromagnetically Coupled</i> (a) <i>Apperture Coupled Feed</i> (b) <i>Proximity Coupled Feed</i> [8]	18
Gambar 2. 6	Antena Mikrostrip dengan Pencatuan <i>Coaxial Probe</i> [8]	18
Gambar 2. 7	Antena Mikrostrip dengan Pencatuan <i>Microstrip Line</i> [8]	19
Gambar 2. 8	Desain Antena Mikrostrip dengan Elemen <i>U-Slot Patch</i> (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang [11]	21
Gambar 2. 9	Desain Antena Mikrostrip CUP (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang [11]	22
Gambar 2. 10	Geometri Antena Array Linear [8]	23
Gambar 2. 11	(a) Geometri Antena Isotropis Array Linear (b) Diagram Fasor dari Antena Isotropis Array Linear [8]	24
Gambar 2. 12	Geometri Antena Array Planar [8]	27
Gambar 2. 13	<i>Mutual Coupling</i> pada Antena Array dengan Jarak 0.5 Panjang Gelombang [8]	28
Gambar 3. 1	Diagram Alir Perancangan	31
Gambar 3. 2	Tampilah <i>Impedance Calculation</i> pada CST Microwave Studio 2014	34
Gambar 3. 3	Tampilan <i>Boundary Conditions</i> pada CST Microwave Studio 2014	34
Gambar 3. 4	Tampilah <i>Field Monitors</i> pada CST Microwave Studio 2014	35
Gambar 3. 5	<i>Symetry Plane</i> pada CST Microwave Studio 2014	36
Gambar 3. 6	Tampilan <i>Frequency Range Setting</i> pada CST Microwave Studio 2014	36
Gambar 3. 7	Tampilan <i>Waveguide Port</i> pada CST Microwave Studio 2014	37
Gambar 3. 8	Geometri Antena <i>Rectangular Patch</i>	38
Gambar 3. 9	Desain Antena <i>Rectangular Patch</i> Hasil Perhitungan (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang	38

Gambar 3. 10	Hasil <i>S-Parameter</i> dari Simulasi Desain Antena <i>Rectangular Patch</i> Hasil Perhitungan	39
Gambar 3. 11	Perubahan <i>S-Parameter</i> Berdasarkan Perubahan Parameter Desain Antena dengan Menggunakan Fitur <i>Parameter Sweep</i> pada <i>CST Microwave Studio 2014</i>	39
Gambar 3. 12	Desain Antena <i>Rectangular Patch</i> Hasil Optimasi pada <i>CST Microwave Studio 2014</i> (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang.....	40
Gambar 3. 13	Hasil Simulasi <i>S-Parameter</i> Antena <i>Rectangular Patch</i>	41
Gambar 3. 14	Hasil Simulasi VSWR Antena <i>Rectangular Patch</i>	42
Gambar 3. 15	Hasil Simulasi Impedansi <i>Input</i> Antena <i>Rectangular Patch</i>	42
Gambar 3. 16	Hasil Simulasi Pola Radiasi 3D Antena <i>Rectangular Patch</i>	43
Gambar 3. 17	Hasil Simulasi Pola Radiasi Cartesian Antena <i>Rectangular Patch</i>	43
Gambar 3. 18	Hasil Simulasi <i>Surface Current</i> Antena <i>Rectangular Patch</i> pada Frekuensi 3 GHz.....	44
Gambar 3. 19	Geometri Antena Array	46
Gambar 3. 20	Desain Antena Antena Array pada <i>CST Microwave Studio 2014</i> Tampak Depan	47
Gambar 3. 21	Desain Antena Antena Array pada <i>CST Microwave Studio 2014</i> Tampak Belakang.....	47
Gambar 3. 22	Hasil Simulasi <i>S-Parameter</i> Antena Array.....	48
Gambar 3. 23	Hasil Simulasi VSWR Antena Array	49
Gambar 3. 24	Hasil Simulasi Impedansi <i>Input</i> dari Antena Array	49
Gambar 3. 25	Hasil Simulasi Pola Radiasi 3D Antena Array pada Frekuensi 3 GHz	50
Gambar 3. 26	Hasil Simulasi Pola Radiasi Cartesian Antena Array pada Frekuensi 3 GHz	51
Gambar 3. 27	Hasil Simulasi <i>Surface Current</i> Antena Array	51
Gambar 3. 28	Geometri Antena Array CBS	53
Gambar 3. 29	Desain Antena Array CBS Hasil Penambahan Antena Array dengan CBS Tampak Depan	54
Gambar 3. 30	Desain Antena Array CBS Hasil Penambahan Antena Array dengan CBS Tampak Belakang	55

Gambar 3. 31	Perubahan <i>S-Parameter</i> Antena Array CBS Via 11 Ketika Sweep Parameter <i>f</i> (<i>Feeding Point</i>)	57
Gambar 3. 32	Perubahan <i>S-Parameter</i> Antena Array CBS Via 11 Ketika Sweep Parameter <i>wp</i> (<i>Lebar Patch</i>).....	57
Gambar 3. 33	Perubahan <i>S-Parameter</i> Antena Array CBS Via 11 Ketika Sweep Parameter <i>f</i> (<i>Feeding Point</i>) dan <i>wp</i> (<i>Lebar Patch</i>)	58
Gambar 3. 34	Dimensi Antena Array CBS Hasil Optimasi Tampak Depan.....	58
Gambar 3. 35	Dimensi Antena Array CBS Hasil Optimasi Tampak Belakang.....	59
Gambar 3. 36	Dimensi Antena Array CBS Hasil Optimasi Tampak Perspektif	59
Gambar 3. 37	Hasil Simulasi <i>S-Parameter</i> Antena Array CBS	61
Gambar 3. 38	Hasil Simulasi VSWR Antena Array CBS	61
Gambar 3. 39	Hasil Simulasi Impedansi <i>Input</i> Antena Array CBS.....	62
Gambar 3. 40	Hasil Simulasi Pola Radiasi 3D Antena Array CBS pada Frekuensi 3 GHz.....	63
Gambar 3. 41	Hasil Simulasi Pola Radiasi Cartesian Antena Array CBS pada Frekuensi 3 GHz	63
Gambar 3. 42	Hasil Simulasi <i>Surface Current</i> Antena Array CBS	64
Gambar 3. 43	RF <i>Vector Network Analyzer</i> (VNA) Merk Agilent Technologies N9922A yang Digunakan untuk Pengukuran	67
Gambar 3. 44	Alat Tambahan untuk Menunjang Pengukuran (a) <i>N to SMA connector</i> (b) <i>SMA to SMA Semi Rigid Coaxial Cable</i> (c) <i>SMA Male RF Coaxial Termination Matched Dummy Load 50 Ω</i>	68
Gambar 3. 45	<i>Spectrum Analyzer</i> merk ADVANTEST R3162.....	70
Gambar 3. 46	<i>Analog Signal Generator</i> merk Agilent Technologies E8663B.....	70
Gambar 4. 1	Realisasi Antena <i>Rectangular Patch</i> (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang.....	73
Gambar 4. 2	Realisais Antena Array (a) Tampak Depan (b) Tampak.	74
Gambar 4. 3	Realisasi Antena Array CBS (a) Tampak Depan (b) Tampak	75
Gambar 4. 4	Hasil Pengukuran <i>S-Parameter</i> Antena <i>Rectangular Patch</i>	76

Gambar 4. 5	Hasil Pengukuran VSWR Antena <i>Rectangular Patch</i>	77
Gambar 4. 6	Hasil Pengukuran Impedansi Input Antena <i>Rectangular Patch</i>	77
Gambar 4. 7	Contoh <i>Plotting Return Loss</i> Antena Array (S11).....	78
Gambar 4. 8	Contoh <i>Plotting Mutual Coupling</i> Antena Array (S12) ..	79
Gambar 4. 9	Contoh <i>Plotting</i> VSWR Antena Array (Elemen 1)	79
Gambar 4. 10	Contoh <i>Plotting</i> Impedansi <i>Input</i> Antena Array (Elemen 1)	80
Gambar 4. 11	Contoh <i>Plotting Return Loss</i> Antena Array CBS (S11)	81
Gambar 4. 12	Contoh <i>Plotting Mutual Coupling</i> Antena Array CBS (S12).....	81
Gambar 4. 13	Contoh <i>Plotting</i> VSWR Antena Array CBS (Elemen 1)	82
Gambar 4. 14	Contoh <i>Plotting</i> Impedansi <i>Input</i> Antena Array CBS (Elemen 1).....	82
Gambar 4. 15	Perbandingan Pola Radiasi <i>E Plane</i> Antena Array dan Antena Array CBS Hasil Pengukuran	88
Gambar 4. 16	Perbandingan Pola Radiasi <i>H Plane</i> Antena Array dan Antena Array CBS Hasil Pengukuran	89

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter Antena Mikrostrip yang Diinginkan	32
Tabel 3. 2 Spesifikasi FR4 Epoxy yang Digunakan.....	32
Tabel 3. 3 Pengaruh Permittivitas Bahan terhadap Dimensi Antena.....	33
Tabel 3. 4 Dimensi Antena <i>Rectangular Patch</i> Hasil Optimasi.....	40
Tabel 3. 5 Parameter Simulasi Antena <i>Rectangular Patch</i>	45
Tabel 3. 6 Parameter Desain Antena Array	45
Tabel 3. 7 Dimensi Antena Array yang Disimulasikan	46
Tabel 3. 8 Parameter Simulasi Antena Array	52
Tabel 3. 9 Parameter Desain Antena Array CBS	53
Tabel 3. 10 Dimensi Antena Array CBS Hasil Penambahan Antena Array dengan CBS	54
Tabel 3. 11 Perubahan <i>Mutual Coupling</i> terhadap Perubahan Jumlah dan Jarak Antar Lubang Via	55
Tabel 3. 12 Dimensi Antena Array CBS Slot Hasil Optimasi	60
Tabel 3. 13 Parameter Simulasi Antena Array CBS	65
Tabel 3. 14 Pengaruh <i>Mutual Coupling</i> terhadap Daya yang Diteruskan	71
Tabel 4. 1 Parameter Kerja Antena <i>Rectangular Patch</i> Hasil Pengukuran 76	
Tabel 4. 2 Parameter Kerja Antena Array Hasil Pengukuran.....	78
Tabel 4. 3 Parameter Kerja Antena Array CBS Hasil Pengukuran	80
Tabel 4.4 Perbandingan Parameter Hasil Simulasi dan Pengukuran <i>Antena Rectangular Patch</i>	84
Tabel 4. 5 Perbandingan Parameter Kerja Antena Array Hasil Simulasi dan Pengukuran.....	85
Tabel 4. 6 Perbandingan Parameter Kerja Antena Array CBS Hasil Simulasi dan Pengukuran.....	86
Tabel 4. 7 Perbandingan Parameter Kerja Antena Array dan Antena Array CBS Hasil Pengukuran	87

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Antena mikrostrip merupakan antena yang banyak dikembangkan dalam berbagai aplikasi [1] karena antena mikrostrip sangat cocok digunakan untuk perangkat telekomunikasi yang sekarang ini sangat memperhatikan bentuk dan ukuran. Antena mikrostrip juga memiliki fitur yang menarik seperti, profil rendah, fleksibel, ringan, ukuran kecil, dapat dibuat untuk bekerja di banyak frekuensi, tidak memerlukan catuan tambahan, polaritas linear dan sirkular, serta biaya produksi yang rendah [2]. Namun, antena mikrostrip memiliki beberapa kekurangan, yaitu efisiensi yang rendah, penguatan yang rendah, radiasi daya yang rendah, dan faktor kualitas (Q) yang tinggi. Juga termasuk polarisasi yang buruk, kinerja pemindaian yang rendah, serta *bandwidth* yang sempit. *Bandwidth* dari antena mikrostrip dapat ditingkatkan dengan menggunakan *substrate* yang tebal atau dengan memilih permitivitas dielektrik *substrate* yang rendah.

Ada banyak cara untuk mengurangi kekurangan dari antena mikrostrip ini, salah satunya menambahkan *patch* pada *substrate*-nya sehingga menjadi antena mikrostrip array [3]. Beberapa kelebihan antena mikrostrip array dibandingkan dengan antena mikrostrip biasa yaitu memiliki *beamwidth* yang lebih sempit, dan *bandwidth* serta *gain* yang lebih besar sehingga sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh antena untuk Radar *Surveillance*. Namun Antena Mikrostrip Array juga memiliki beberapa kekurangan, salah satunya adalah munculnya *mutual coupling*.

Mutual coupling dapat dikaitkan dengan dua alasan, yaitu interaksi elektromagnetik dan arus permukaan antar elemen. Efek *mutual coupling* dapat menyebabkan perubahan pada parameter antena, seperti *gain*, *return loss*, pola radiasi, efisiensi, kapasitas saluran, *impedance matching*, dan daya yang dipancarkan [4]. Salah satu cara mengurangi *mutual coupling* adalah dengan menambahkan *Cavity Backed Slot* yang selanjutnya disingkat CBS pada struktur antena mikrostrip array yang selanjutnya disebut Antena Array. Selain itu, untuk dapat mengurangi pengaruh *mutual coupling* dapat dilakukan penambahan jarak antar elemen. Tetapi metode ini memiliki kelemahan yaitu membuat dimensi antena semakin besar sehingga kurang sesuai untuk aplikasi Radar.

Penambahan CBS merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi *mutual coupling* atau meningkatkan isolasi antar elemen Antena Array, sehingga pengaruh yang ditimbulkan oleh *mutual coupling* dapat diminimalisir. CBS terdiri dari *slot* dengan lebar dan panjang tertentu yang mengelilingi *patch* serta sejumlah lubang *via* dengan jarak dan diameter tertentu yang berjajar mengelilingi *slot* yang difabrikasi dengan metode *trough hole plating*. Penelitian tentang CBS masih berkembang hingga sekarang terutama untuk pengembangan Antena *Phased Array*.

Pada Tugas Akhir ini dirancang Antena Mikrostrip *Rectangular Patch* yang selanjutnya disebut Antena *Rectangular Patch*, Antena Mikrostrip Array yang selanjutnya disebut Antena Array, dan Antena Mikrostrip Array dengan *Cavity Backed Slot* yang selanjutnya disebut Antena Array CBS. Ketiga antena dirancang agar mampu bekerja pada frekuensi *S-Band* dengan jarak 0,5 panjang gelombang antar elemen antena array sehingga mampu memperkecil ukuran antena. Kecilnya jarak yang digunakan mengakibatkan peningkatan *mutual coupling*. Penambahan CBS pada Antena Array dilakukan untuk mengevaluasi *mutual coupling* yang terjadi pada Antena Array baik sesudah maupun sebelum penambahan. Sehingga dapat disimpulkan apa dan bagaimana pengaruh penambahan CBS terhadap beberapa parameter kerja antena yang dapat berubah karena pengaruh *mutual coupling* antar elemen Antena Array.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan CBS pada Antena Array dengan jarak 0.5 panjang gelombang yang bekerja pada frekuensi *S-Band* terhadap parameter antena :
 - a) *S-Parameter*, S_{mn} ; dimana $m, n = 1, 2, 3$?
 - b) *Bandwidth* ?
 - c) *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) ?
 - d) *Impedansi Input* ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mempermudah dalam memahami Tugas Akhir ini, penulis membatasi pada ruang lingkup penelitian sebagai berikut :

1. *Software* simulasi antena yang digunakan adalah CST *Microwave Studio* 2014.

2. Material dari *substrate* yang digunakan adalah FR4 *Epoxy*.
3. Pengukuran parameter antena dilakukan menggunakan RF *Vector Network Analyzer* (VNA).
4. Antena Array disusun *linear* yang terdiri dari 3 elemen dengan jarak 0,5 panjang gelombang pada frekuensi *S-Band*.

1.4 Tujuan

Tugas Akhir ini diharapkan dapat menghasilkan suatu evaluasi *mutual coupling* pada Antena Array dan Antena Array CBS yang terdiri dari 3 elemen *linear* dengan jarak 0,5 panjang gelombang yang mampu bekerja pada frekuensi *S-Band*. Sehingga dapat diketahui pengaruh penggunaan CBS terhadap beberapa parameter kerja antena yang dapat berubah karena pengaruh *mutual coupling* antar elemen.

1.5 Metodologi

Gambar 1.1 menunjukkan diagram tulang ikan metode penelitian. Berikut ini adalah metodologi penelitian yang digunakan dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini :

1. Studi Literatur

Pada tahap ini akan mempelajari beberapa referensi dari buku yang berisi teori maupun aplikasi mengenai Antena *Rectangular Patch*, Antena Array, CBS dan *Mutual coupling*.

2. Penentuan Perangkat

Pada tahap ini akan dipilih jenis *substrate*, jenis lapisan peradiasi (konduktor), dan jenis *connector* yang akan digunakan untuk fabrikasi Antena Array dan Antena Array CBS pada frekuensi *S-Band*.

3. Simulasi pada CST *Microwave Studio* 2014

Pada tahap ini akan ditentukan dimensi dari Antena *Rectangular Patch*, Antena Array dan Antena Array CBS, termasuk geometri dari CBS jumlah, diameter dan jarak antar lubang *via*. Hasil perancangan Antena *Rectangular Patch* yang sudah optimal kemudian disusun *linear* 3 elemen dengan jarak 0.5 panjang gelombang. Hasil perancangan Antena Array yang sudah optimal kemudian ditambahkan dengan CBS. Tahap ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* CST *Microwave Studio* 2014.

4. Fabrikasi

Pada tahap ini, hasil perancangan Antena *Rectangular Patch*, Antena Array dan Antena Array CBS akan difabrikasi di tempat percetakan PCB dengan jenis *substrate*, jenis konduktor, dan jenis *connector* yang telah dipilih sebelumnya.

5. Pengukuran

Pada tahap ini akan dilakukan pengukuran parameter antenna seperti *S-Parameter*, *bandwidth*, VSWR, dan Impedansi *Input* menggunakan perangkat *Vector Network Analyzer* (VNA). Pengukuran *S-Parameter* diukur dalam satuan *desibel*, *bandwidth* dalam MHz, VSWR dalam linear, dan impedansi *input* dalam Ohm (Ω).

S-Parameter dapat diukur dengan melihat nilai *return loss* dibawah -10 dB dari masing masing lembah. *S-Parameter* yang diukur pada Antena Array adalah S_{mn} dimana $m, n = 1, 2, 3$. Pengukuran *S-Parameter* dilakukan untuk mengetahui *mutual coupling* antar elemen serta untuk mengetahui lebar *bandwidth* dari masing-masing elemen antenna, dimana nilai *bandwidth* dapat diperoleh dengan cara mencari selisih batas atas dan batas bawah frekuensi yang nilainya lebih kecil dari -10 dB pada pengukuran *return loss*. Nilai *S-Parameter* yang lebih besar dari -10 dB menunjukkan kinerja antenna yang buruk dan tingginya *mutual coupling* antar elemen antenna.

VSWR mempunyai nilai batas maksimum sebesar 2 sehingga apabila hasil pengukuran VSWR terhadap sebuah antenna lebih dari 2 maka dapat dikatakan kinerja antenna tersebut buruk. VSWR yang diukur pada antenna array adalah VSWR 1 untuk elemen 1, VSWR 2 untuk elemen 2, hingga VSWR n untuk elemen n. Besar impedansi *input* antenna diharapkan mendekati 50 Ω agar *matching* dengan *connector* dan alat ukur yang digunakan. Impedansi *Input* yang diukur pada antenna array adalah Z_{11} untuk elemen 1, Z_{22} untuk elemen 2, hingga Z_{nn} untuk elemen n.

Pada setiap pengukuran yang dilakukan, data hasil pengukuran dapat disimpan ke dalam beberapa tipe file seperti bmp yang berupa gambar grafik hasil pengukuran, s2p atau csv yang berupa tabel hasil pengukuran. Selanjutnya data hasil pengukuran dapat ditransfer ke perangkat penyimpanan seperti *flash disk* maupun kartu *memory*. Data hasil pengukuran berupa file dengan format s2p dan csv kemudian *diplot* menggunakan Matlab dan *diplot* hasilnya untuk dievaluasi.

6. Analisa dan Kesimpulan

Pada tahap ini akan dilakukan analisa terhadap data hasil simulasi dan pengukuran dari beberapa parameter kerja Antena *Rectangular Patch*, Antena Array, dan Antena Array CBS. Dari analisa yang telah dilakukan, selanjutnya dapat diambil kesimpulan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Buku Tugas Akhir ini terbagi atas lima bagian dan masing-masing bab akan diuraikan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, dan sistematika laporan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini membahas mengenai teori-teori yang terkait dengan pengerjaan Tugas Akhir.

BAB 3 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI ANTENA

Bab ini membahas langkah perancangan yang mempunyai hasil akhir desain Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*, Antena Mikrostrip Array, dan Antena Mikrostrip Array dengan *Cavity Backed Slot* yang akan difabrikasi.

BAB 4 HASIL PENGUKURAN DAN ANALISA

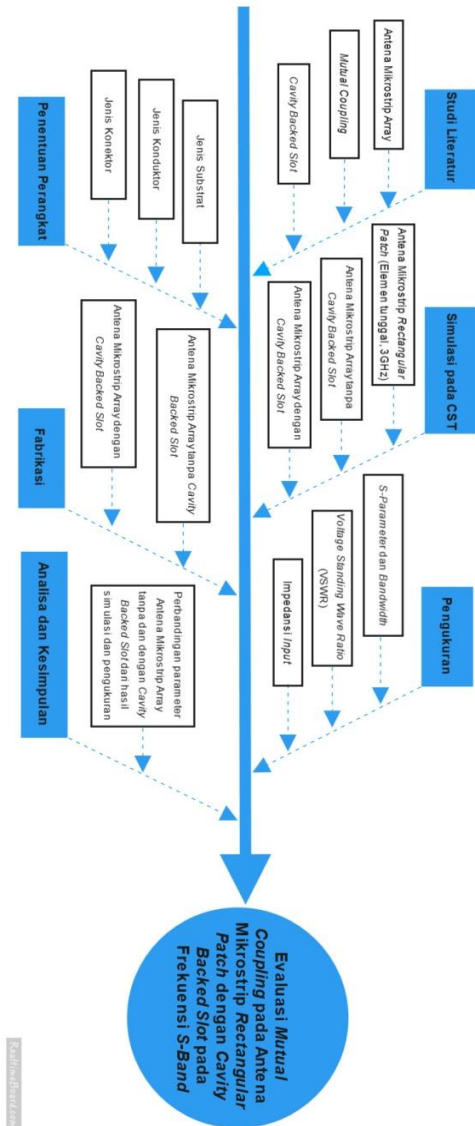
Bab ini berisi hasil pengukuran dan analisa data serta pembahasan dari hasil pengukuran beberapa parameter kerja Antena *Rectangular Patch*, Antena Array, dan Antena Array CBS.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan, dan saran berdasarkan yang telah dilakukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

1.7 Relevansi

Dengan selesainya Tugas Akhir ini, diharapkan akan berguna dalam perkembangan teknologi telekomunikasi khususnya di bidang Antena dan Propagasi. Karya ini diharapkan dapat dipertimbangkan untuk sintesis antena mikrostrip array karena dengan adanya CBS diharapkan mampu mengurangi efek *mutual coupling* antar elemen antena. Selain itu, diharapkan Buku Tugas Akhir ini dapat dimanfaatkan sebagai pustaka penelitian selanjutnya mengenai topik serupa.



Gambar 1. 1 Diagram Tulang Ikan Metodologi Penelitian

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Antena

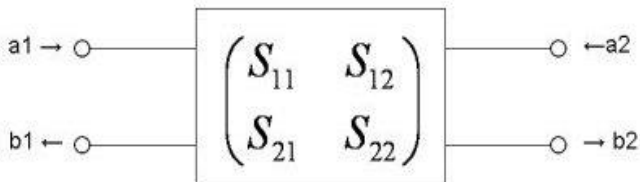
Antena adalah perangkat yang meradiasikan atau menerima sinyal elektromagnetik dari atau ke ruang bebas [5]. Pada sistem komunikasi, suatu sinyal ditransmisikan dari satu titik ke titik lainnya. Transmisi sinyal dilakukan dengan beberapa cara salah satunya adalah transmisi sinyal elektromagnetik melalui ruang bebas, dengan antena sinyal yang datang dari saluran transmisi dapat dipancarkan ke ruang bebas. Saluran transmisi adalah media yang berfungsi menghantarkan sinyal, jika sinyal melalui saluran transmisi yang tak berhingga panjangnya maka akan timbul gelombang yang merambat secara *uniform* pada saluran transmisi. Apabila saluran transmisi tersebut dihubungkan singkat maka akan timbul gelombang berdiri yang disebabkan oleh *interferensi* antara gelombang datang dan gelombang yang dipantulkan.

2.2 Parameter Antena

Dalam perancangan antena perlu diketahui kinerja dari antena tersebut agar nantinya antena sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, kinerja suatu antena dapat diketahui melalui parameter antena, parameter tersebut antara lain.

2.2.1 Scattering Parameter (S-Parameter)

S-Parameter adalah besaran yang menggambarkan hubungan dari terminal masukan dan keluaran dari suatu saluran transmisi yang berkaitan dengan daya sinyal yang diteruskan maupun dipantulkan [6]. Konsep *S-Parameter* dalam dua terminal dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Konsep *S-Parameter* dengan Dua Terminal [6]

Keterangan:

- S_{11} : perbandingan daya yang masuk dan keluar dari terminal 1
 S_{12} : perbandingan daya yang masuk dari terminal 1 dan keluar ke terminal 2
 S_{21} : perbandingan daya yang masuk dari terminal 2 dan keluar ke terminal 1
 S_{22} : perbandingan daya yang masuk dan keluar dari terminal 2
 a_1 : daya yang masuk dari terminal 1
 a_2 : daya yang masuk dari terminal 2
 b_1 : daya yang keluar ke terminal 1
 b_2 : daya yang keluar ke terminal 2

Dari Gambar 2.1 maka didapatkan persamaan 2.1 hingga 2.4.

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad (2.1)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad (2.2)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad (2.3)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad (2.4)$$

2.2.2 Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi adalah perbandingan antara daya yang dipantulkan dengan daya yang masuk dengan daya yang ditransmisikan, bisa dikatakan koefisien refleksi sama dengan S_{11} [7]. Nilai koefisien refleksi yang merupakan fungsi daya bisa diubah menjadi fungsi tegangan melalui persamaan 2.5 dan 2.6.

$$P = \frac{v^2}{Z_0} \quad (2.5)$$

$$\sqrt{P} = \frac{v}{Z_0} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- P : daya
 V : tegangan
 Z_0 : impedansi karakteristik

Koefisien refleksi tegangan (Γ) adalah perbandingan antara tegangan yang dipantulkan (v^{0-}) dan tegangan yang masuk (v^{0+}) dapat diperoleh dengan persamaan 2.7.

$$\Gamma = \frac{v^{0-}}{v^{0+}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.7)$$

Keterangan:

Γ : koefisien refleksi tegangan
 v^{0-} : tegangan pantul
 v^{0+} : tegangan masuk
 Z_L : impedansi beban
 Z_0 : impedansi karakteristik

Koefisien refleksi tegangan memiliki beberapa kondisi khusus antara lain:

1. $\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, saluran terhubung singkat
2. $\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, saluran match
3. $\Gamma = 1$: refleksi positif maksimum, saluran dalam rangkaian terbuka.

2.2.3 Return Loss

Return loss merupakan perbandingan antara daya yang dipantulkan dan daya yang masuk [7] atau bentuk logaritmik dari koefisien refleksi dengan satuan desibel (dB).

$$RL \text{ (dB)} = 20 \log |\Gamma| = 10 \log \frac{P_i}{P_r} \quad (2.8)$$

Keterangan :

RL : *return loss*
 Γ : koefisien refleksi tegangan
 P_i : tegangan pantul
 P_r : tegangan masuk

Nilai dari *return loss* digunakan untuk melihat kinerja dari antenna, terutama untuk menentukan frekuensi kerja dari antenna. Semakin rendah nilai *return loss* suatu antenna, semakin baik kinerja dari antenna

dibandingkan dengan daya yang masuk. Batas maksimum nilai *return loss* suatu antenna adalah -10 dB.

2.2.4 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR adalah perbandingan amplitudo tegangan gelombang berdiri maksimum ($|V_{max}|$) dan amplitudo tegangan gelombang berdiri minimum ($|V_{min}|$). Besarnya nilai VSWR bisa didapatkan dari persamaan 2.9.

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.9)$$

Keterangan :

VSWR : *Voltage Standing Wave Ratio*

Γ : koefisien refleksi tegangan

V_{max} : amplitudo tegangan gelombang berdiri maksimum

V_{min} : amplitudo tegangan gelombang berdiri minimum

VSWR memiliki rentang nilai dari 1 sampai tak hingga. VSWR juga menjadi salah satu peramter yang digunakan untuk melihat kinerja dari antenna, yang menentukan frekuensi kerja dari antenna. Semakin besar nilai VSWR maka kinerja antenna semakin buruk. Kondisi paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 yang menandakan antenna *match* dengan saluran transmisi. Batas nilai maksimum VSWR untuk suatu antenna adalah 2.

2.2.5 Bandwidth

Bandwidth adalah rentang frekuensi dimana kinerja suatu perangkat masih dapat diterima [5]. Untuk antenna maka *bandwidth* adalah rentang frekuensi dimana VSWR dan *return loss* tidak melewati nilai maksimum untuk antenna. *Bandwidth* memiliki dua batas yaitu batas atas (f_1) dan batas bawah (f_2) dimana besarnya *bandwidth* adalah rentang nilai diantara tersebut. Untuk antenna *narrow band* atau *bandwidth* sempit sering disebutkan dalam persentase yang didapatkan dari persamaan 2.10.

$$BW = \frac{f_1 - f_2}{f_c} \times 100\% \quad (2.10)$$

Keterangan:

BW : *bandwidth*

f_1 : batas atas frekuensi kerja

f_2 : batas atas frekuensi kerja

f_c : titik tengah frekuensi kerja

2.2.6 Pola Radiasi

Pola radiasi adalah gambaran secara grafis karakteristik radiasi dari sebuah antena [5]. Pola radiasi antena disebut pola medan (*field pattern*) jika yang digambarkan adalah kuat medan. Untuk menyatakan pola radiasi secara grafis, maka pola radiasi dapat digambarkan dalam bentuk absolut atau relatif. Bentuk relatif artinya pola radiasi yang sudah ternormalisasi, dimana setiap nilai dari pola radiasi dibagi dengan nilai maksimumnya. Sehingga pola radiasi yang ternormalisasi dapat dinyatakan dengan persamaan 2.11.

$$F_{(\theta,\Phi)} = \frac{P_{(\theta,\Phi)}}{E_{(\theta,\Phi)\max}} \quad (2.11)$$

Karena *pointing vector* hanya mempunyai komponen radiasi yang berbanding lurus dengan kuadrat *magnitude* kuat medannya, maka pola daya yang dinyatakan dalam pola ternormalisasi sama dengan kuadrat dari pola medan yang sudah ternormalisasi.

$$P_{(\theta,\Phi)} = |F_{(\theta,\Phi)}|^2 \quad (2.12)$$

Pada umumnya pola radiasi antena digambarkan dalam satuan desibel. Nilai desibel dari intensitas medan didapatkan dengan persamaan 2.13

$$F_{(\theta,\Phi)} = 20 \log |F_{(\theta,\Phi)}| \quad (2.13)$$

Keterangan :

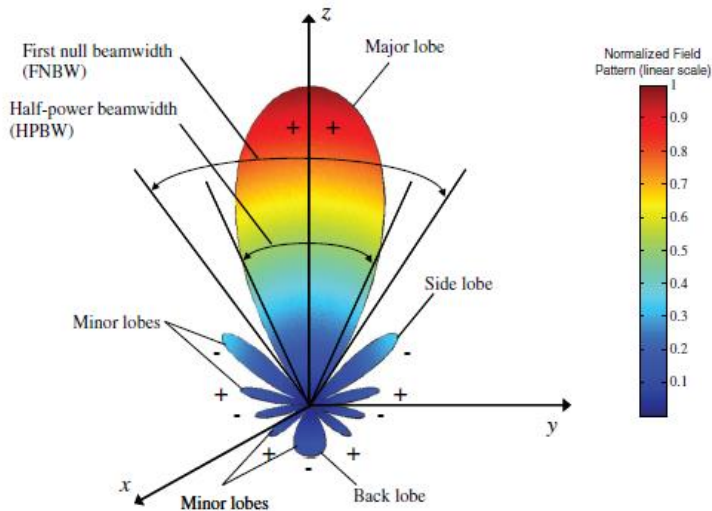
$F_{(\theta,\Phi)}$: pola medan ternormalisasi

$P_{(\theta,\Phi)}$: pola daya ternormalisasi

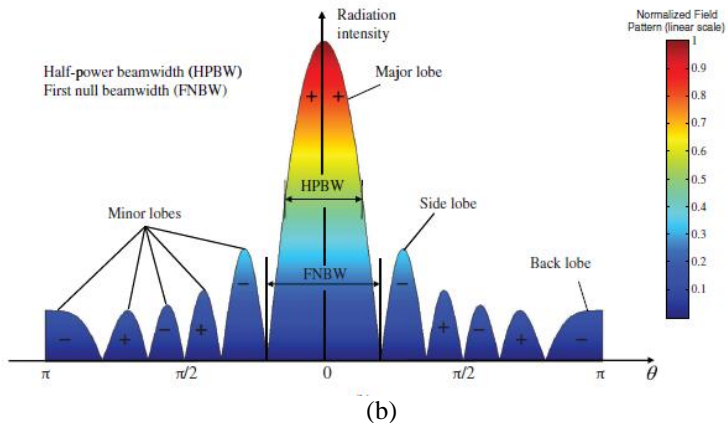
$E_{(\theta,\Phi)\max}$: nilai maksimum medan listrik

Pola radiasi terdiri dari tiga bagian yaitu *Main Lobe*, *Side Lobe*, dan *Back Lobe*. *Main lobe* dan *Side lobe* berturut-turut adalah daerah radiasi yang memiliki intensitas tertinggi dan yang lebih rendah dari *main lobe* sedangkan *Back lobe* memiliki arah radiasi bertolak belakang dengan *Main Lobe*. *Main lobe* terdiri dari *Half Power Beamwidth* (HPBW) dan *Beamwidth Between First Null* (BWFN). HPBW adalah besar sudut dimana intensitas radiasi menjadi setengah (-3 dB) dari intensitas tertinggi. BWFN adalah besar sudut dimana intensitas radiasi menjadi nol. Posisi dari *Main Lobe*, *Side Lobe*, dan *Back Lobe* serta HPBW dan BWFN dijelaskan pada Gambar 2.2.

Untuk mendapatkan pola radiasi maka diperlukan pengukuran dimana faktor jarak menjadi penting. Semakin jauh jarak pengukuran, semakin baik hasil pengukuran. Karena kita tidak bisa melakukan pada jarak yang tidak terhingga, maka pengukuran dilakukan pada jarak yang sudah dianggap sebagai medan jauh. Untuk menentukan jarak medan jauh bisa didapatkan menggunakan persamaan 2.14.



(a)



Gambar 2. 2 Pola Radiasi Antena (a) Plot Polar (b) Plot Cartesian [8]

$$r > \frac{2D^2}{\lambda} \text{ dengan } r \gg D \text{ dan } r \gg \lambda \quad (2.14)$$

Keterangan:

r : jarak pengukuran

D : panjang dari antena

λ : panjang gelombang yang dipancarkan antena

Berdasarkan bentuk polanya, pola radiasi terbagi menjadi tiga macam yaitu:

1. *Isotropic*

Pola radiasi *isotropic* adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi yang sama ke segala arah, sehingga memiliki bentuk seperti bola.

2. *Omnidirectional*

Pola radiasi *omnidirectional* adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi ke segala arah.

3. *Directional*

Pola radiasi *directional* adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi pada arah tertentu saja.

2.2.7 Gain

Gain adalah perbandingan antara rapat daya per satuan unit antena terhadap rapat daya antena referensi pada arah dan daya yang sama. *Gain* dinyatakan dengan persamaan 2.15.

$$G_{(\theta,\phi)} = 4\pi \frac{U_{(\theta,\phi)}}{P_m} \quad (2.15)$$

Keterangan :

$U_{(\theta,\phi)}$: daya yang diradiasikan per satuan sudut (steradian)

P_m : daya terima dari antena

Gain dapat dinyatakan dalam desibel (dB) yang dinyatakan dengan persamaan 2.16.

$$G_t = \frac{P_t}{P_s} G_s \text{ atau } G_t (\text{dB}) = P_t (\text{dB}) - L - P_s (\text{dB}) + G_s (\text{dB}) \quad (2.16)$$

Keterangan :

r : jarak pengukuran

D : panjang dari antena

λ : panjang gelombang yang dipancarkan antena

2.2.8 Direktivitas [8]

Direktivitas adalah perbandingan antara intensitas radiasi dari arah yang diberikan oleh antena terhadap intensitas radiasi rata-rata pada semua arah. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan total daya yang diradiasikan oleh antena dibagi dengan 4π . Jika arah tidak ditentukan, maka arah yang dimaksud dengan arah pada intensitas radiasi maksimum. Direktivitas dapat dituliskan sebagai persamaan 2.17.

$$D = \frac{U}{U_\sigma} = \frac{4\pi}{P_r} \quad (2.17)$$

Keterangan:

D = Direktivitas maksimum (tanpa dimensi)

U = Intensitas radiasi (W/unit solid angle)

U_σ = Intensitas radiasi pada sumber *isotropic* (W/unit solid angle)

P_r = Daya total yang diradiasikan (W)

2.2.9 Polarisasi

Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnetik yang menggambarkan arah dan *magnitude* vektor medan listrik yang bervariasi menurut waktu. Polarisasi diklasifikasikan sebagai *linear*, *melingkar* dan *elips*.

a. Polarisasi *Linear*

Polarisasi *linear* terjadi jika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki *vector* medan listrik atau medan magnetik selalu berorientasi pada garis lurus yang sama setiap waktu. Polarisasi *linear* terjadi jika vektor medan hanya memiliki satu komponen.

b. Polarisasi *Melingkar*

Polarisasi *melingkar* terjadi jika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki medan listrik atau medan magnetik berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi dari waktu. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai polarisasi adalah:

1. Medan harus mempunyai dua komponen *linear orthogonal*.
2. Kedua komponen tersebut harus mempunyai magnitudo sama.
3. Kedua komponen tersebut harus mempunyai perbedaan fasa waktu pada kelipatan ganjil dari 90° .

c. Polarisasi *Elips*

Polarisasi *elips* terjadi jika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan listrik dan medan magnetik berada pada jalur elips. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mendapat polarisasi ini adalah:

1. Medan harus mempunyai dua komponen *linear orthogonal*.
2. Kedua komponen tersebut dapat memiliki magnitudo yang sama ataupun berbeda
3. Jika kedua komponen tersebut tidak berada pada magnitudo yang sama, perbedaan fasa waktu antara kedua komponen tersebut harus tidak bernilai 0° atau kelipatan 180° . Jika kedua komponen tersebut berada pada magnitudo yang sama perbedaan fasa waktu harus bukan merupakan kelipatan ganjil dari 90° .

2.3 Antena Mikrostrip

Mikrostrip atau dalam Bahasa Inggris ditulis *microstrip* terdiri dari dua kata *micro*, yang berarti kecil, dan *strip* yang berarti keping.

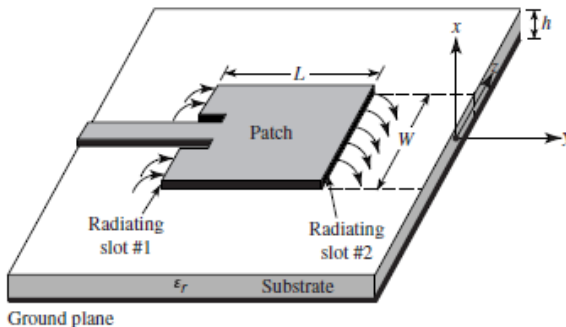
Antena mikrostrip didefinisikan sebagai antena berbentuk kepingan yang berukuran kecil. Antena mikrostrip memiliki kelebihan antara lain:

1. Mempunyai ukuran yang ringkas dan kecil.
2. Kemudahan fabrikasi, dan biaya yang rendah dalam pabrikan.
3. Bisa dilakukan perancangan dua polarisasi dan *multiband* frekuensi.
4. Mudah untuk di integrasikan dengan rangkaian gelombang mikro.

Namun antena mikrostrip juga memiliki beberapa kelemahan antara lain:

1. *Bandwidth* sempit
2. *Gain* rendah
3. Rugi-rugi hambatan yang besar pada pencatutan antena *array*
4. Daya yang dapat diradiasikan (*power handling*) rendah [9].

Antena mikrostrip terdiri dari 3 bagian yaitu *patch*, *ground plane*, dan *substrate*. *Patch* terletak diatas *substrate*, dan *ground plane* terletak dipaling bawah. Struktur antena mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 2.3.



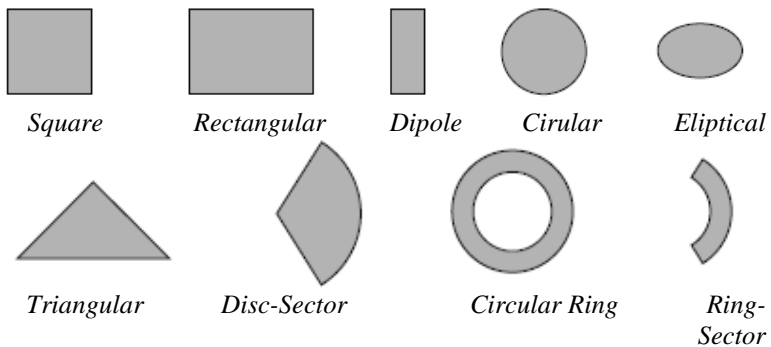
Gambar 2. 3 Struktur Antena Mikrostrip [8]

Patch merupakan bagian teratas dari antena mikrostrip yang meradiasikan sinyal elektromagnetik. *Patch* terbuat dari konduktor, bahan konduktor yang sering digunakan antara lain tembaga dan emas. Berdasarkan bentuknya *patch* terbagi menjadi beberapa jenis yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 yaitu antara lain:

1. Persegi (*square*)
2. Persegi panjang (*rectangle*)

3. Segitiga (*triangle*)
4. Piringan (*disk*)
5. *Elips*

Ground plane merupakan lapisan paling bawah berfungsi untuk memantulkan sinyal yang tidak diinginkan atau untuk menghasilkan karakteristik tertentu pada antenna. *Substrate* terletak diantara *patch* dan *ground plane* yang berfungsi menyalurkan sinyal elektromagnetik dari catu daya. *Substrate* dari bahan dielektrik yang karakteristiknya mempengaruhi kinerja antenna.



Gambar 2. 4 Macam-macam Bentuk *Patch* Antena Mikrostrip [8]

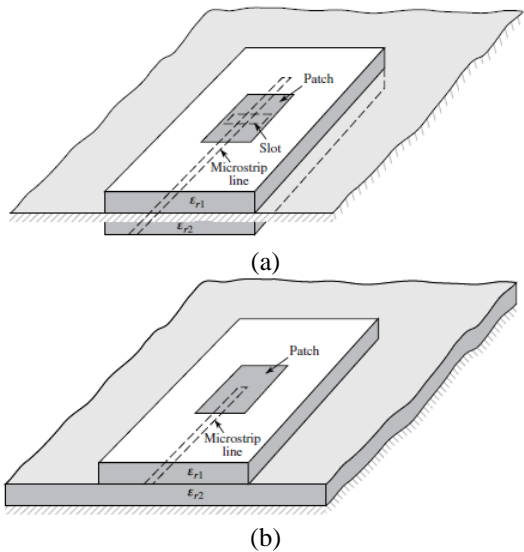
2.3.1 Pencatuan Antena Mikrostrip

Pencatuan (*feeding*) adalah saluran yang digunakan untuk menyuplai catu daya dari sumber ke antenna. Ada beberapa metode pencatuan antenna mikrostrip yaitu *electromagnetically coupled*, pencatuan *coaxial probe*, pencatuan *microstrip line*.

a. Pencatuan *Electromagnetically Coupled*

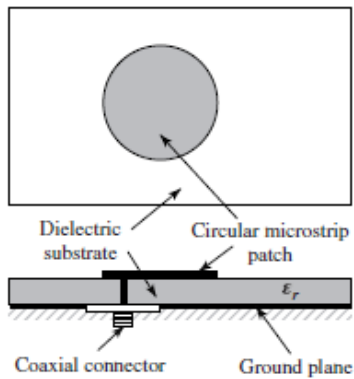
Electromagnetically coupled merupakan pencatuan daya dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik. Pada antenna mikrostrip terdapat dua lapisan *substrate*. Pada *substrate* lapisan pertama bagian atasnya terdapat *patch* dan pada *substrate* lapisan kedua terdapat pencatuan mikrostrip *line* yang menerima daya sehingga dapat

memancarkan gelombang elektromagnetik yang dapat mencatu *patch*. Pencatuan *electromagnetically coupled* dijelaskan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Antena Mikrostrip dengan Pencatuan *Electromagnetically Coupled* (a) *Aperture Coupled Feed* (b) *Proximity Coupled Feed* [8]

b. Pencatuan *Coaxial Probe*

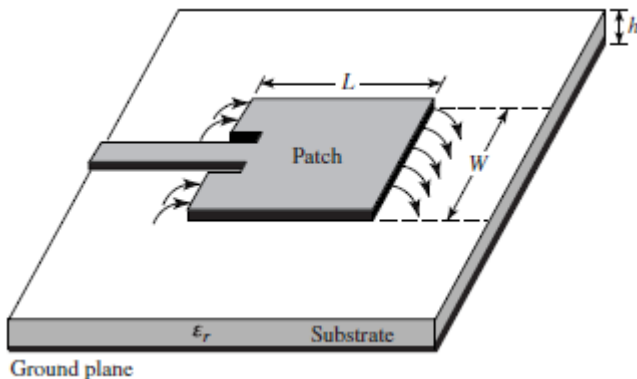


Gambar 2. 6 Antena Mikrostrip dengan Pencatuan *Coaxial Probe* [8]

Pada Pencatutan ini antenna mikrostrip dicatu dari bawah dengan cara melubangi *ground plane* dan *substrate*, kemudian dipasang *connector coaxial* yang terhubung dengan *patch*. Sehingga pencatutan daya terjadi dari kabel *coaxial* langsung ke *patch*. Pencatutan *coaxial probe* mempunyai keunggulan kemudahannya untuk *matching impedansi*, karena dengan mengatur titik yang dijadikan lubang maka impedansi *input* dari antenna dapat diubah. Pencatutan *coaxial probe* dijelaskan pada Gambar 2.6.

c. Pencatutan *Microstrip Line*

Pencatutan *microstrip line* adalah pencatutan yang paling mudah untuk diaplikasikan. Pencatutan *microstrip line* adalah dengan menambahkan jalur transmisi pada *patch* sehingga pencatu daya bisa terhubung dengan antenna. Bahan yang digunakan untuk membuat *microstrip line* adalah konduktor, biasanya sama dengan bahan yang digunakan untuk *patch*. Pencatutan *microstrip line* dijelaskan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Antena Mikrostrip dengan Pencatutan *Microstrip Line* [8]

2.3.2 Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*

Antena mikrostrip *rectangular patch* merupakan jenis antenna mikrostrip yang paling banyak digunakan. Bentuknya berupa segiempat pada elemen peradiasinya. Model *rectangular patch* juga lebih mudah untuk dianalisis. Antena mikrostrip ini terdiri dari tebal (h) dan lebar (W) yang terbentang sepanjang (L).

a. Dimensi Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*

Dalam perancangan *rectangular patch* dimensi antena yang perlu diketahui adalah panjang (*length*, L) dan lebar (*width*, W) dari *rectangular patch* didapatkan dengan persamaan 2.18 hingga 2.21 [10].

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.18)$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2.19)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.20)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.21)$$

Keterangan :

f_r : frekuensi resonansi atau frekuensi kerja antena

c : kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^9$ m/s)

h : ketebalan *substrate*

Sedangkan untuk panjang dan lebar *groundplane* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.22 dan persamaan 2.23 [10].

$$L_g = xh + L \quad (2.22)$$

$$W_g = xh + W \quad (2.23)$$

Keterangan:

L_g : panjang *groundplane* dan *substrate*

W_g : lebar *groundplane* dan *substrate*

X : faktor pengali dengan nilai ≥ 6

- b. Koordinat Pencatuan *Coaxial Probe* pada Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*

Titik atau koordinat pencatuan antena juga sangat mempengaruhi kinerja dari antena, oleh karena itu koordinat pencatuan antena dapat dihitung menggunakan persamaan 2.24 dan 2.25.

$$L_s = \frac{L}{2\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.24)$$

$$W_s = \frac{W}{2} \quad (2.25)$$

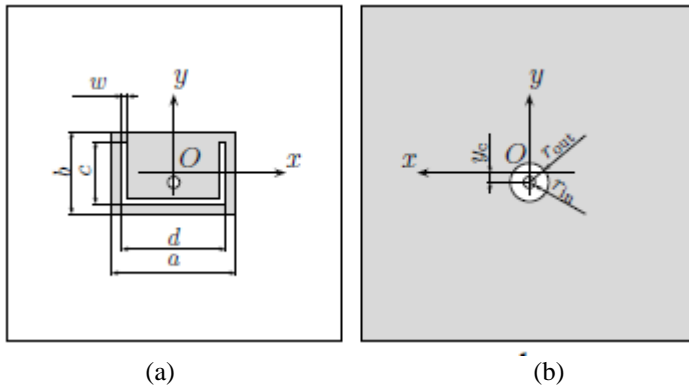
Keterangan:

L_s : koordinat pencatuan sisi panjang

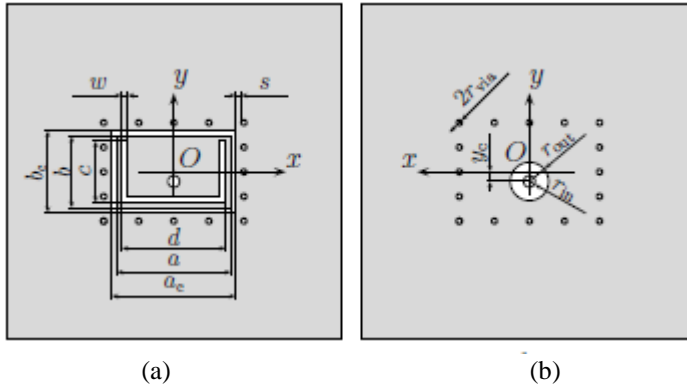
W_s : koordinat pencatuan sisi lebar

2.3.3 Antena Mikrostrip *Cavity Backed U-Slot Patch* (CUP) [11]

Penambahan *Cavity Backed U-Slot* pada antena mikrostrip array *linear uniform* dengan lubang via yang difabrikasi *through hole plating* yang mengelilingi *patch* antena, dapat mengurangi jumlah energi yang mengalir dari radiator (*patch*) satu ke yang lainnya [11]. Gambar 2.8 dan Gambar 2.9 menunjukkan desain antena mikrostrip dengan elemen *U-Slot patch* dan desain antena dengan elemen *Cavity Backed U-Slot Patch* (CUP).



Gambar 2. 8 Desain Antena Mikrostrip dengan Elemen *U-Slot Patch*
(a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang [11]



Gambar 2. 9 Desain Antena Mikrostrip CUP (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang [11]

Sedangkan jarak efektif antar lubang via adalah maksimum $1/8$ panjang gelombang pada *substrate* [12]. Panjang gelombang pada *substrate* dapat diperoleh dari persamaan (2.26).

$$\lambda = \frac{300}{frx \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.26)$$

Keterangan:

λ = panjang gelombang pada *substrate* (meter)

fr = frekuensi resonansi atau frekuensi kerja (MHz)

ϵ_r = koefisien dielektrik *substrate*

2.4 Antena Array [8]

Penyusunan beberapa antena yang saling berdekatan di udara menghasilkan pola radiasi yang lebih terarah dibandingkan dengan pola radiasi antena itu sendiri. Beberapa antena dapat diukur dalam jarak tertentu dan dihubungkan satu sama lain untuk membentuk suatu pola radiasi yang diinginkan. Konfigurasi antena yang seperti ini disebut sebagai antena array.

Konfigurasi elemen dari antena array dapat disusun dalam berbagai bentuk. Untuk konfigurasi yang berbentuk suatu garis lurus disebut antena array *linear*, konfigurasi yang berbentuk bidang datar disebut array *planar*, dan konfigurasi yang berbentuk lingkaran disebut array lingkaran (*circular array*). Sedangkan jenis array yang lain adalah

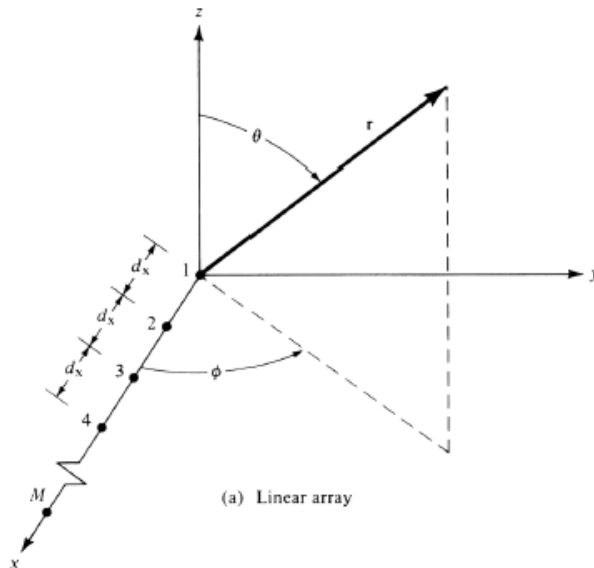
array konformal (*conformal array*), dimana elemen-elemennya terletak pada bidang tak datar.

Faktor array dari suatu antenna array selain dipengaruhi oleh konfigurasi elemen yang dipakai, juga dipengaruhi oleh jumlah dan jarak elemen, serta amplitudo eksitasi dan fasa relatif pada setiap elemennya.

2.4.1 Antena Array *Linear*

Antena array *linear* merupakan susunan beberapa elemen antenna sehingga membentuk garis lurus. Jarak antar elemen bias diatur sama atau tidak, tergantung dari permasalahan yang akan diamati.

Pada Gambar 2.10 menunjukkan bentuk antena array *linear* yang terdiri dari beberapa elemen (dari elemen ke 1 sampai M). Jarak antar elemen diasumsikan sama panjang, d_x . Sudut θ merupakan sudut yang dibentuk dari gelombang datang menuju elemen antena array sepanjang sumbu x.



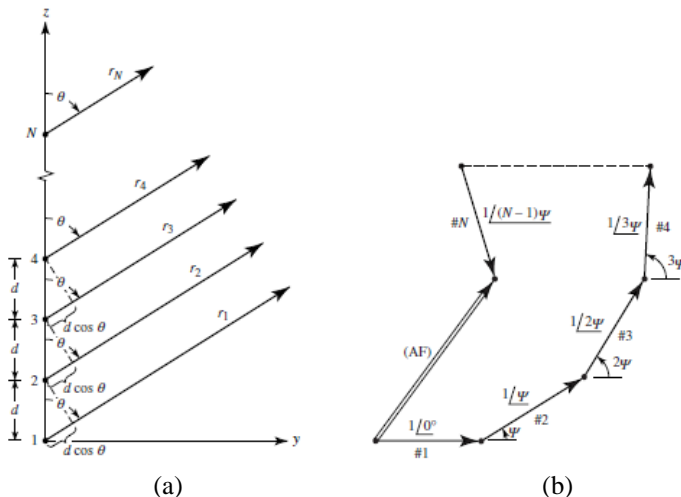
Gambar 2. 10 Geometri Antena Array Linear [8]

Array faktor dari sebuah antenna array N-elemen bisa didapatkan dengan mempertimbangkan elemen sebagai titik sumber. Jika setiap elemennya bukan merupakan sumber isotropis, maka total medan yang dapat dibentuk adalah hasil perkalian antara array faktor dari sebuah sumber isotropis dengan medan dari elemen tunggal.

2.4.1.1 Antena Array *Linear* N-Elemen dengan Amplitudo dan Jarak yang *Uniform*

Geometri dan diagram fasor dari antenna isotropis array *linear* N-elemen dengan amplitudo pencatutan dan jarak antar elemen yang seragam (*uniform*) ditunjukkan pada Gambar 2.11.

Diasumsikan semua elemen mempunyai amplitudo yang identik tetapi setiap elemen mempunyai beda fase β dari elemen sebelumnya. Antena array dengan karakteristik tersebut dinamakan antena array *uniform*. Array faktor dapat diperoleh berdasarkan sumber pencatutan. Jika elemen antena bukan sumber isotropis, total medan dapat diperoleh dengan cara mengalikan array faktor dari sumber isotropis dengan medan dari elemen *single*.



Gambar 2. 11 (a) Geometri Antena Isotropis Array Linear (b) Diagram Fasor dari Antena Isotropis Array Linear [8]

Perkalian pola elemen dapat digunakan untuk semua antena array dengan elemen yang identik. Perkalian pola elemen dapat diperoleh dari persamaan 2.27.

$$\begin{aligned} \text{AF} &= 1 + e^{+j(kd\cos\theta+\beta)} + e^{+j2(kd\cos\theta+\beta)} + \dots + e^{+j(N-1)(kd\cos\theta+\beta)} \\ \text{AF} &= \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\Psi} \end{aligned} \quad (2.27)$$

Atau dapat ditulis dengan persamaan 2.28 dan 2.29.

$$\text{AF} = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\Psi} \quad (2.28)$$

$$\text{Dimana } \Psi = kd \cos \theta + \beta \quad (2.29)$$

Dari total array faktor untuk antena array uniform adalah penjumlahan eksponensial yang dapat direpresentasikan dari penjumlahan vector setiap unit dari amplitudo dan fasa progresif Ψ relatif terhadap elemen antena sebelumnya yang ditunjukkan pada diagram fasor Gambar 2.11 (b). Gambar tersebut merupakan diagram fasor yang menunjukkan amplitudo dan fasa dari AF yang dapat dikontrol pada antena array uniform dengan cara memilih fasa relatif Ψ antar elemen. Pada antena array nonuniform, amplitudo dan fasa dapat digunakan untuk mengatur formasi dan distribusi dari total array faktor.

Array faktor pada persamaan 2.28 juga dapat ditulis dengan persamaan alternatif yang lebih ringkas dengan mengalikan dua sisi persamaan 2.28 dengan $e^{j\Psi}$ yang dapat ditulis pada persamaan 2.30.

$$(\text{AF}) e^{j\Psi} = e^{j\Psi} + e^{j2\Psi} + e^{j3\Psi} + \dots + e^{j(N-1)\Psi} + e^{jN\Psi} \quad (2.30)$$

Atau dapat diringkas menjadi persamaan 2.31.

$$\text{AF}(e^{j\Psi} - 1) = (1 - e^{jN\Psi}) \quad (2.31)$$

Atau

$$\text{AF} = \left[\frac{\sin\left(\frac{N}{2}\Psi\right)}{\sin\left(\frac{1}{2}\Psi\right)} \right] \quad (2.32)$$

Array faktor ternormalisasi dapat dihitung menggunakan persamaan 2.33.

$$AF = \frac{1}{N} \left[\frac{\sin\left(\frac{N\psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} \right] \quad (2.33)$$

Untuk menghitung *nulls* dari antena array, persamaan 2.33 harus diset menjadi 0, sehingga didapatkan persamaan untuk menghitung nulls pada persamaan 2.34.

$$\Theta_n = \cos^{-1} \left[\frac{\lambda}{2\pi d} \left(-\beta \pm \frac{2n}{N} \pi \right) \right], \text{ dimana } n = 1, 2, 3 \dots n \neq N, 2N, 3N, \dots \quad (2.34)$$

Untuk menghitung 3-dB *beamwidth* atau HPBW dapat digunakan persamaan 2.35.

$$\Theta_h = \frac{\pi}{2} - \sin^{-1} \left[\frac{\lambda}{2\pi d} \left(-\beta \pm \frac{2.782}{N} \right) \right] \quad (2.35)$$

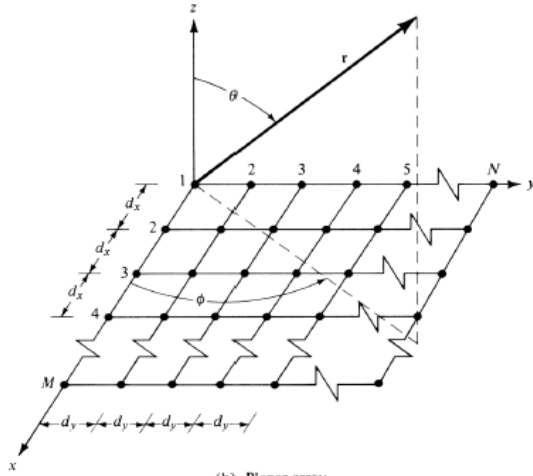
Untuk menghitung *Side Lobe Level* (SLL) dapat diperoleh dari persamaan 2.36 dengan nilai $s = 1$.

$$\Theta_s = \frac{\pi}{2} - \frac{\lambda}{2\pi d} \left[-\beta \pm \left(\frac{2s+1}{N} \right) \pi \right] \quad (2.36)$$

2.4.2 Antena Array Planar

Array *planar* adalah rangkaian dari beberapa antena yang tersusun pada kolom dan baris yang berbentuk persegi (dua dimensi) dan terdistribusi pada bidang datar. Misalkan suatu antena array *planar* berdimensi $M \times N$ elemen terletak pada bidang x - y , maka elemen-elemen dari array tersebut tersusun secara teratur dan berderet sepanjang sumbu x dan sumbu y dengan jarak antar elemen berkedatan pada sumbu x dan sumbu y berturut-turut dinyatakan oleh dx dan dy . Arah θ diukur pada sumbu z dengan arah pengamatan, dimana r merupakan jarak medan jauh, $r \gg \lambda$ (λ = panjang gelombang), dan arah ϕ diukur dari sumbu x positif dengan garis yang dibentuk dari proyeksi pengamatan pada bidang x - y . Selanjutnya θ disebut dengan sudut elevasi dan ϕ disebut

dengan sudut azimuth. Geometri antenna array planar ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Geometri Antena Array Planar [8]

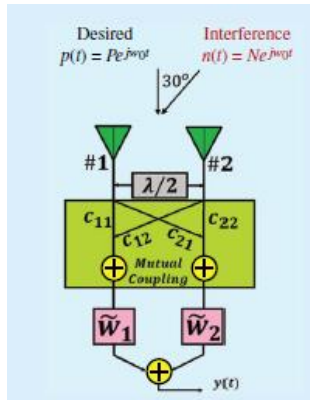
2.5 *Mutual coupling* [8]

Ketika dua antenna saling berdekatan, baik dicatu pada semua port maupun hanya dicatu pada salah satu port, energi yang ditransmisikan oleh sebuah elemen peradiasi (*patch*) satu juga akan diserap atau diterima oleh elemen peradiasi (*patch*) yang lain. Jumlah energi yang diterima bergantung pada:

1. Karakteristik radias dari masing masing antenna
2. Jarak relatif antar kedua antenna
3. Orientasi relatif dari masing masing antenna

Ada banyak mekanisme yang dapat menyebabkan pertukaran energi antar dua buah elemen antenna. Contohnya, meskipun kedua antenna saling metransmisikan energi, sebagian dari energi yang diradiasikan akan diterima oleh lainnya karena karakteristik yang tidak ideal dari antenna tersebut. Sebagian dari energi yang diserap oleh salah satu atau kedua antenna akan dipancarkkan kembali pada arah yang berbeda yang memungkinkan kedua antenna tersebut mempunyai karakteristik pentransmisi sekunder. Pertukaran energi ini dinamakan *Mutual coupling* yang dapat menyebabkan kompleksnya analisa dan desain antenna pada banyak kasus.

Pada banyak konfigurasi praktis, *Mutual coupling* susah diprediksi secara analisis tetapi harus tetap dipertimbangkan karena keberadaannya berkontribusi secara signifikan. Gambar 2.13 menunjukkan kronologi terjadinya *Mutual coupling* pada dua elemen antenna yang disusun dengan jarak 0.5 panjang gelombang.



Gambar 2. 13 *Mutual Coupling* pada Antena Array dengan Jarak 0.5 Panjang Gelombang [8]

Sedangkan beberapa pengaruh *mutual coupling* pada performansi antenna array bergantung pada :

1. Tipe antenna dan parameter desainnya
2. Posisi relatif dari elemen pada antenna array
3. Pencatuan elemen array
4. Volum *scanning* dari array

Perhitungan *mutual coupling* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.27) [11].

$$C_{ab, \text{ dB}} = 10 \log \frac{|T_{ab}|^2}{(1-|\Gamma_a|^2)(1-|\Gamma_b|^2)} \quad (2.37)$$

Keterangan :

$C_{ab, \text{ dB}}$: Nilai *mutual coupling* dalam decibel (dB)

T_{ab} : Koefisien Transmisi (S_{ab} , S_{ba})

Γ_a : Koefisien Refleksi Antena a (S_{aa})

Γ_b : Koefisien Refleksi Antena b (S_{ba})

BAB III

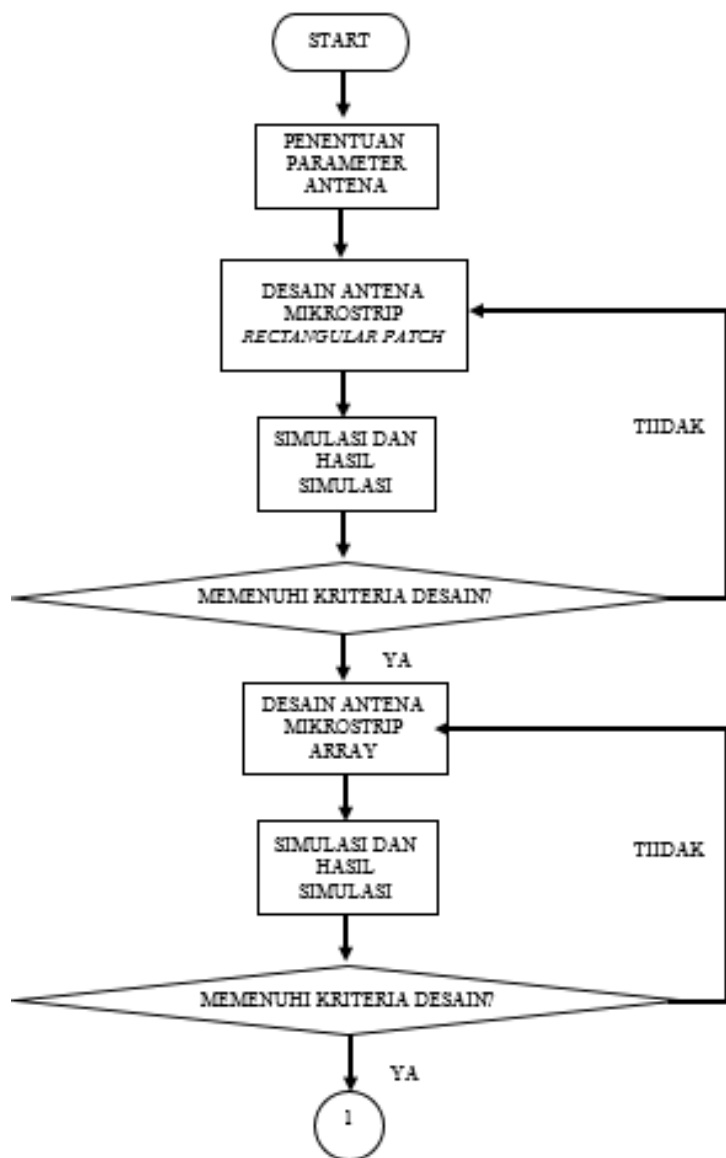
PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

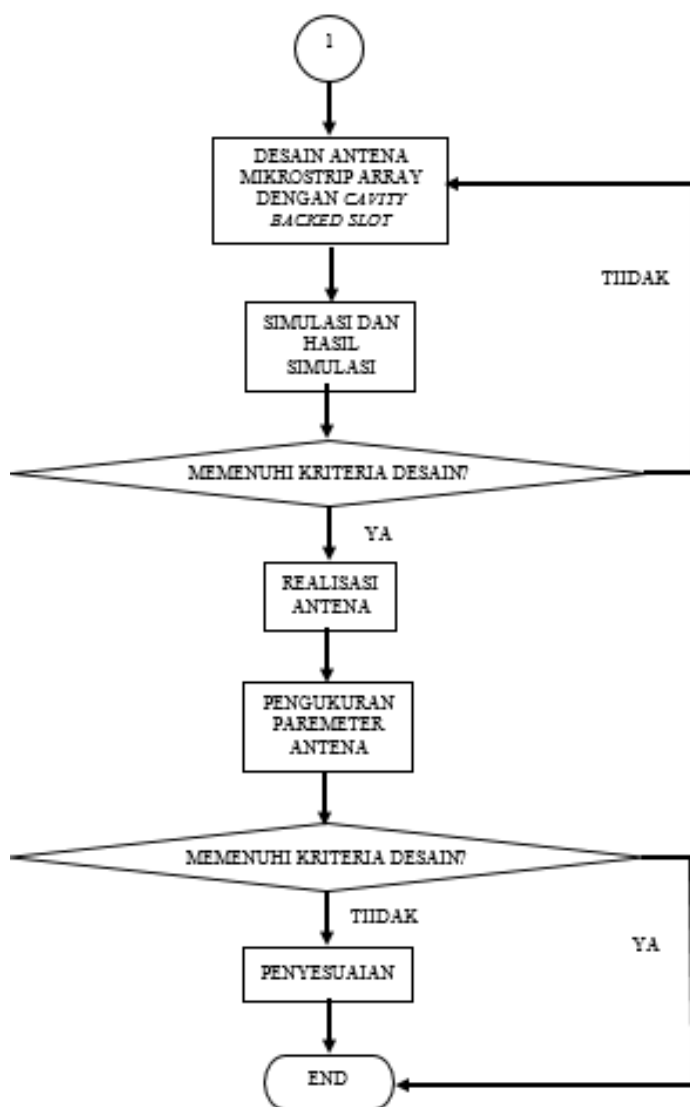
Pada Bab ini dilakukan perancangan antenna mikrostrip array yang terdiri dari 3 desain yaitu desain Antena *Rectangular Patch*, desain Antena Array, dan desain Antena Array CBS. Ketiga desain tersebut difabrikasi dan kemudian diukur kinerjanya menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA), kemudian dilakukan perbandingan dan analisa.

3.1 Diagram Alir Perancangan

Desain antenna dilakukan setelah menentukan parameter kerja antenna yang diinginkan termasuk dengan menentukan bahan berupa *substrate* dan konektor yang akan digunakan. Desain pertama yang disimulasikan adalah desain Antena *Rectangular Patch* yang parameter desain dan dimensinya diperoleh dari hasil perhitungan. Selanjutnya simulasi desain Antena Array, yang didapatkan dengan menyusun elemen Antena *Rectangular Patch* sebanyak 3 elemen secara linear dengan spasi 0,5 panjang gelombang. Desain Antena Array CBS merupakan desain Antena Array dengan penambahan CBS yang penempatan dan dimensinya dioptimasi agar menghasilkan kinerja yang baik.

Setelah ketiga desain antenna sudah menghasilkan kinerja yang sesuai dengan parameter kerja antenna yang diinginkan, maka selanjutnya ketiga desain tersebut difabrikasi. Fabrikasi antenna dilakukan di vendor percetakan PCB. Pengukuran dilakukan terhadap beberapa parameter kerja antenna yaitu *S-Parameter*, *bandwidth*, VSWR, impedansi *input*, dan pola radiasi. Pengukuran parameter kerja antenna dilakukan untuk dapat mengetahui apakah sudah sesuai dengan hasil pada simulasi sehingga dapat dibandingkan bagaimana pengaruh penggunaan CBS terhadap isolasi antar elemen Antena Array dengan spasi 0,5 panjang gelombang yang mampu bekerja pada frekuensi *S-Band* serta efek apa yang ditimbulkan pada parameter antenna yang lainnya. Keseluruhan proses pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dijelaskan melalui diagram alir perancangan pada Gambar 3.1





Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan

3.2 Penentuan Spesifikasi Antena Mikrostrip

Perancangan antena mikrostrip, baik Antena *Rectangular Patch* maupun Antena Array, diharapkan memiliki parameter-parameter utama seperti yang terdapat dalam tabel 3.1. Spesifikasi ini ditetapkan lebih dahulu sebelum disimulasikan dengan menggunakan CST *Microwave Studio* 2014.

Tabel 3. 1 Parameter Antena Mikrostrip yang Diinginkan

Spesifikasi Antena	Keterangan
Bentuk <i>Patch</i> Antena	<i>Rectangular</i>
Frekuensi Tengah	3 GHz
<i>Return Loss</i>	< -10 dB
VSWR	< 2
Metode Pencatutan	<i>Probe Feeding</i>
Impedansi <i>Input</i>	$\pm 50\Omega$
Pola Radiasi	<i>Directional</i>

Langkah selanjutnya adalah menentukan bahan yang akan digunakan untuk pembuatan antena. Bahan yang dipilih untuk membuat antena mikrostrip tersebut adalah *FR4 Epoxy*, karena selain bahannya mudah didapatkan, harganya pun juga relatif murah. Selain itu spesifikasi *substrate FR4 Epoxy* sudah terdapat dalam *database CST Microwave Studio* 2014. Spesifikasi *FR4 Epoxy* dapat dilihat pada Tabel 3.2. Sedangkan Tabel 3.3 merupakan beberapa parameter desain Antena *Rectangular Patch* yang diperoleh dari hasil perhitungan.

Tabel 3. 2 Spesifikasi FR4 Epoxy yang Digunakan

Karakteristik	Nilai Ideal	Yang Digunakan
Koefisien Dielektrik	4,3	4,7
Koefisien Permeabilitas	1	Tidak ada data
Rugi-Rugi Tangent Dielektrik	0,025	Tidak ada data
Frekuensi	$1.10^9 - 9.10^9$ Hz	Tidak ada data
Kerapatan Massa	1900 Kg/m ³	Tidak ada data
Ketebalan Konduktor (Tembaga)	0,035 mm	0,035
Ketebalan <i>Substrate (FR4 Epoxy)</i>	1,6 mm	1,6

Tabel 3. 3 Pengaruh Permittivitas Bahan terhadap Dimensi Antena

ϵ_r	Dimensi Patch (mm)		Dimensi Groundplane (mm)		Koordinat Pencatutan (mm)	
	Panjang (L)	Lebar (W)	Panjang (Lg)	Lebar (Wg)	Ls	Ws
4,6	29,8807	22,9211	39,4807	32,521	14,94	5,589
4,7	29,6174	22,6783	39,2174	32,278	14,80	5,474
4,8	29,361	22,443	38,961	32,043	14,68	5,363
4,9	29,1111	22,2147	38,7111	31,814	14,55	5,257

Berdasarkan *survey* di pasaran didapatkan bahwa permitivitas bahan yang mudah didapatkan untuk jenis *substrate* FR4 *Epoxy* adalah sebesar 4,7. Sehingga dapat disimulasikan dimensi dari Antena *Rectangular Patch* hasil perhitungan yaitu panjang *patch* (W) sebesar 29,6174 mm; lebar *patch* (L) sebesar 22,6783 mm; panjang *groundplane* (Wg) sebesar 39,2174 mm; dan lebar *groundplane* (Lg) sebesar 32,278 mm, serta koordinat pencatutan Ws sebesar 14,80 mm dan Ls sebesar 5,474 mm.

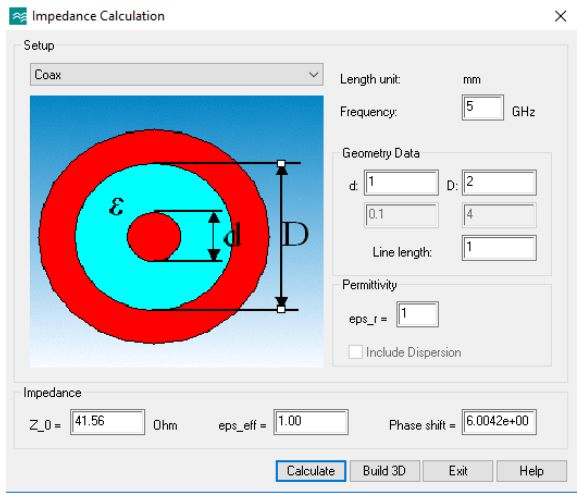
3.3 Simulasi Antena Mikrostrip

Setelah dimensi antena mikrostrip dihitung, maka selanjutnya dilakukan perancangan desain antena tersebut pada CST *Microwave Studio* 2014. Selain menentukan parameter-parameter seperti yang terdapat dalam tabel 3.1 dan 3.2, terdapat beberapa parameter lain yang harus ditetapkan, diantaranya diameter konektor yang dipakai, pilihan jenis *boundary conditions* (*open add space*), pilihan *field monitor* (*E-Field*, *H-Field*, *Surface Current*, dan *Farfield*), *range* frekuensi (2-4 GHz), jenis *plane* antena bersifat *non-symetry*, dan tipe pencatutan antena dipilih jenis *probe feed*. Adapun parameter-parameter tersebut harus disetting didalam *software* simulator CST *Microwave Studio* 2014. Adapun langkah-langkahnya akan dijelaskan dalam sub bab berikut.

3.3.1 Impedance Calculation

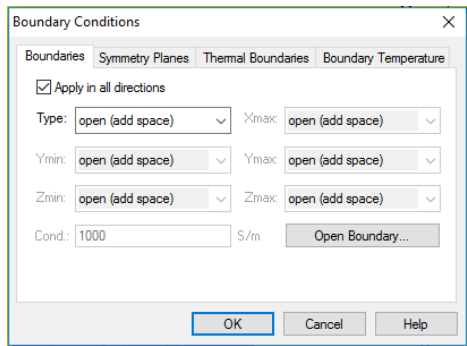
Impedance Calculation adalah salah satu fitur yang terdapat di CST *Microwave Studio* 2014. Kerena pada perancangan antena ini menggunakan metode pencatutan *Probe Feeding*, maka dipilih *Coax*.

Karena impedansi *input* yang diinginkan adalah $\pm 50 \, \Omega$, untuk menghitung secara otomatis impedansi *input* dengan memasukkan variabel permitivitas *teflon*, diameter *teflon*, dan diameter *pin* yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Tampilan *Impedance Calculation* pada *CST Microwave Studio 2014*

3.3.2 Boundary Conditions

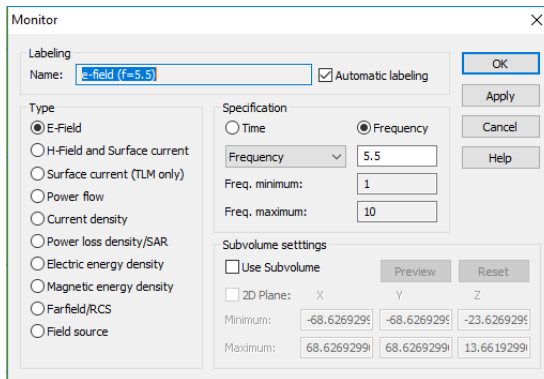


Gambar 3. 3 Tampilan *Boundary Conditions* pada *CST Microwave Studio 2014*

Boundary Conditions berfungsi sebagai batas wilayah di daerah antenna. Karena komputasi dari komputer hanya mampu menghitung sesuatu yang memiliki batas, sehingga harus mengatur *Boundary Conditions* yang dapat dilihat pada Gambar 3.3. Pilihan yang dapat dipilih yaitu *Electric*, *Magnetic*, *Open*, *Open (add space)*, *Periodic*, *Conducting Wall*, dan *Unit Cell*. Karena simulasi antenna akan melihat farfield, maka *Boundary Conditions* disetting *Open (add space)*.

3.3.3 Field Monitors

Filed Monitors digunakan untuk mengetahui distribusi medan elektromagnetik yang terdapat pada antenna yang disimulasikan melalui *waveguide port*. Kita dapat mengatur frekuensi dari gelombang elektromagnetik yang bekerja pada antenna, karena antenna yang digunakan bekerja pada frekuensi 3 GHz maka kita masukkan nilai pada frekuensi sebesar 3 GHz yang dapat dilihat pada Gambar 3.4. Lalu kita pilih tipe apa saja yang berpengaruh pada antenna. Untuk simulasi kali ini, tipe yang dipilih adalah *E-Field*, *H-Field and Surface Current*, dan *Farfield/RCS*.

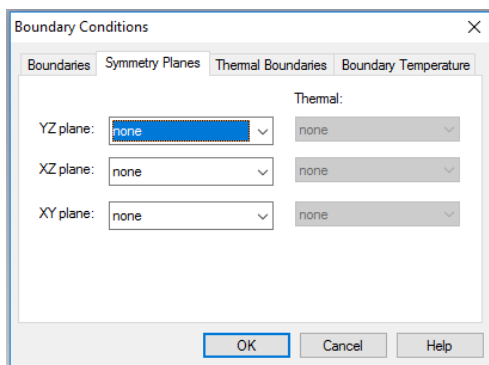


Gambar 3. 4 Tampilah *Field Monitors* pada CST Microwave Studio 2014

3.3.4 Symmetry Planes

Jika memiliki antenna yang simetris, maka *symmetry plane* dapat diatur untuk meminimalisir waktu simulasi. Fitur ini merupakan fitur yang dapat dimanfaatkan pada CST Microwave Studio 2014 untuk simulasi antenna dengan dimensi yang besar. Sehingga waktu simulasi

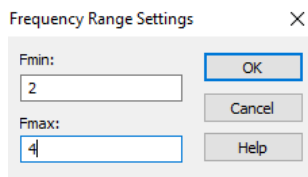
yang semula bisa memakan waktu berminggu-minggu dapat direduksi menjadi beberapa hari. Dalam menggunakan fitur ini, maka terlebih dahulu harus mengetahui apa dan pada bidang apa yang simetris. Pilihan yang dapat dipilih adalah *Magnetic*, *Electric*, dan *None* yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3. 5 *Symetry Plane* pada CST Microwave Studio 2014

3.3.5 Frequency Range Settings

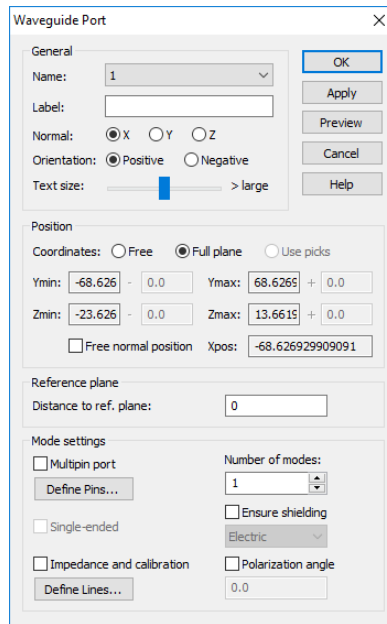
Frequency Range Setting adalah untuk menentukan batas bawah dan batas atas frekuensi yang akan kita simulasikan. *Frequency Range Setting* juga memepengaruhi waktu simulasi yang akan dilakukan. Semakin besar range frekuensi yang disimulasikan maka akan memakan waktu simulasi yang lebih lama. Karena mesh cells akan semakin banyak dan semakin banyak pula yang harus dihitung oleh komputer. Kita ingin menyimulasikan pada frekuensi 3 GHz, sehingga batas frekuensi bawah (Fmin) diatur pada 2 GHz, dan batas frekuensi atas (Fmax) diatur pada 4 GHz yang dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Tampilan *Frequency Range Setting* pada CST Microwave Studio 2014

3.3.6 Waveguide Port

Waveguide Port adalah tempat dibangkitkannya sinyal yang akan bekerja pada antenna yang disimulasikan. Sehingga penempatan dari *Waveguide Port* sangat penting untuk disimulasikan seperti yang diinginkan untuk diukur. CST *Microwave Studio* 2014 juga memiliki fitur *Calculation Port Extension Coefficient* untuk menghitung secara otomatis besar port yang digunakan pada antenna mikostrip. Tampilan *Waveguide Port* ditunjukkan pada Gambar 3.7.

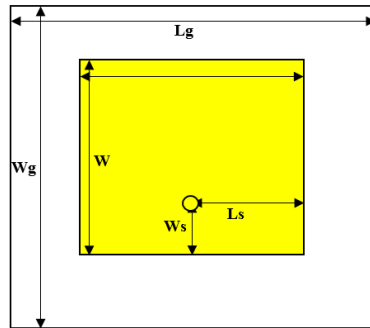


Gambar 3. 7 Tampilan *Waveguide Port* pada CST *Microwave Studio* 2014

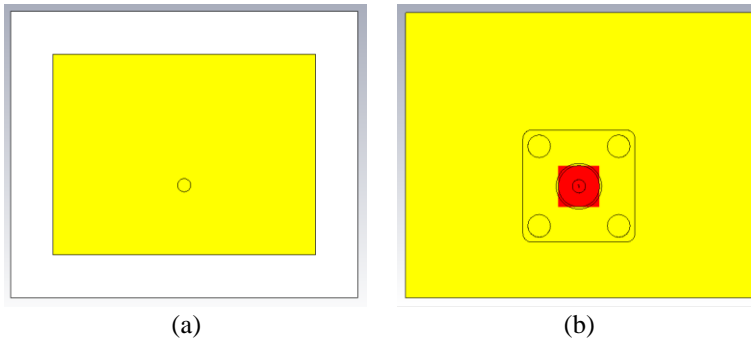
3.4 Optimasi Dimensi Antena *Rectangular Patch*

Perancangan desain dan dimensi antenna dilakukan berdasarkan perhitungan dari beberapa persamaan matematis yang telah disebutkan pada subbab 2.3.2 serta disesuaikan kriteria antenna dengan spesifikasi material yang telah didefinisikan pada subbab 3.2.

Geometri dari Antena *Rectangular Patch* dapat dilihat pada Gambar 3.8. Sedangkan hasil desain Antena *Rectangular Patch* pada CST *Microwave Studio* 2014 ditunjukkan pada Gambar 3.9

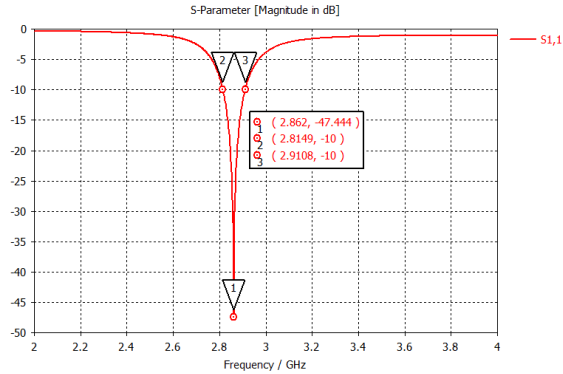


Gambar 3. 8 Geometri Antena *Rectangular Patch*

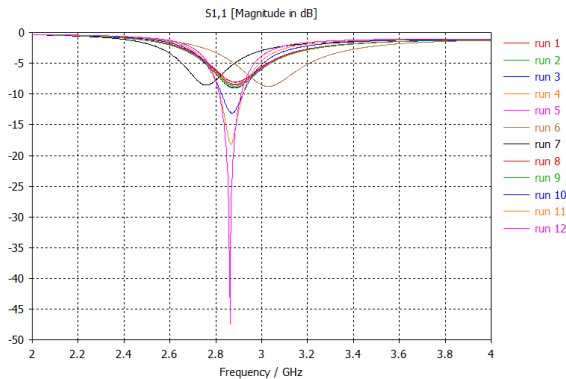


Gambar 3. 9 Desain Antena *Rectangular Patch* Hasil Perhitungan (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang

Dari desain dan dimensi yang telah diperoleh maka dapat dilihat hasil simulasi berupa *S-Parameternya* pada CST *Microwave Studio* 2014 yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 10 Hasil *S-Parameter* dari Simulasi Desain Antena *Rectangular Patch* Hasil Perhitungan



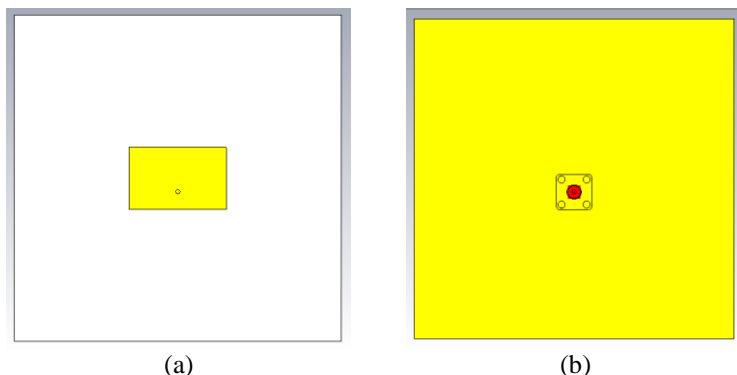
Gambar 3. 11 Perubahan *S-Parameter* Berdasarkan Perubahan Parameter Desain Antena dengan Menggunakan Fitur *Parameter Sweep* pada *CST Microwave Studio 2014*

Dari hasil *S-Parameter* tersebut dapat dilihat bahwa spesifikasi antenna hasil perhitungan masih belum sesuai dengan spesifikasi Antena *Rectangular Patch* yang diinginkan. Oleh karena itu, dilakukan optimasi desain agar spesifikasi antenna hasil desain dapat sesuai dengan spesifikasi antenna yang diinginkan.

Optimasi desain antenna dapat dilakukan dengan menggunakan fitur *Parameter Sweep* pada *CST Microwave Studio 2014*. *Parameter Sweep* digunakan untuk melihat perubahan *S-Parameter* terhadap perubahan dimensi antenna. Gambar 3.11 menunjukkan perubahan apa saja yang akan terjadi apabila masing-masing parameter diubah dimensinya menggunakan fitur *Parameter Sweep*.

Tabel 3. 4 Dimensi Antena *Rectangular Patch* Hasil Optimasi

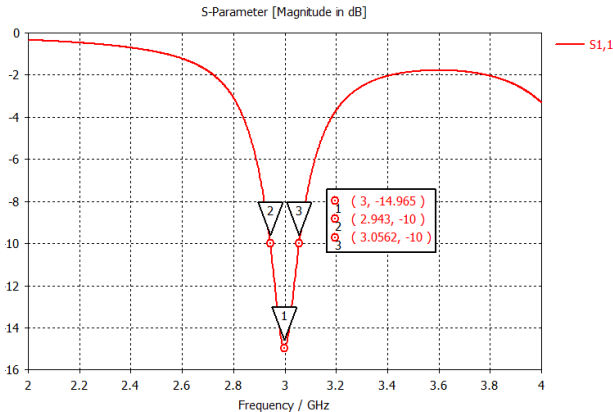
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Pajang <i>Patch</i>	L	33,48
Lebar <i>Patch</i>	W	22,5
Pajang <i>Groundplane</i>	L_g	110
Lebar <i>Groundplane</i>	W_g	110
Koordinat Pencatuan (Panjang)	L_s	5
Koordinat Pencatuan (Lebar)	W_s	11,25



Gambar 3. 12 Desain Antena *Rectangular Patch* Hasil Optimasi pada *CST Microwave Studio 2014* (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang

Dari hasil optimasi menggunakan *Parameter Sweep* diharapkan dapat diperoleh sebuah desain Antena *Rectangular Patch* yang optimal dan mendekati spesifikasi antenna yang diinginkan. Tabel 3.4 menunjukkan parameter desain Antena *Rectangular Patch* hasil optimasi. Sedangkan tampilan desain Antena *Rectangular Patch* hasil optimasi dapat dilihat pada Gambar 3.12.

3.4.1 Simulasi *S-Parameter*



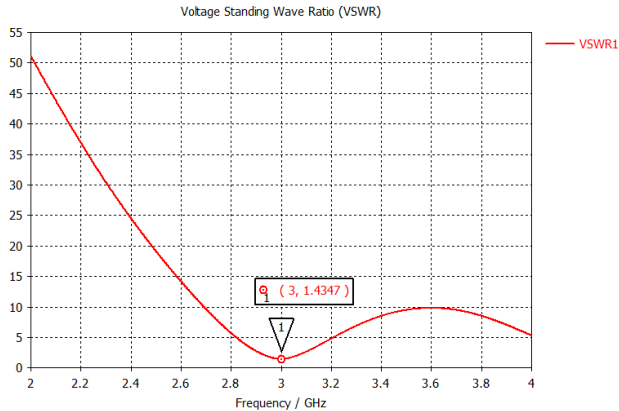
Gambar 3. 13 Hasil Simulasi *S-Parameter* Antena *Rectangular Patch*

Simulasi *S-Parameter* dilakukan untuk mendapatkan nilai frekuensi kerja antenna apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan atau belum. Gambar 3.13 merupakan hasil *S-Parameter* dari desain Antena *Rectangular Patch* Hasil Optimasi yang dirancang untuk dapat bekerja pada rentang frekuensi *S-Band* (2-4 GHz) dengan frekuensi tengah 3 GHz.

Dalam perancangan tersebut didapatkan bahwa nilai S₁₁ sebesar -14,965 dB pada frekuensi 3 GHz. Semakin rendah S₁₁ maka semakin rendah nilai *return loss*. Rendahnya nilai *return loss* menunjukkan bahwa sangat sedikit daya yang dipantulkan dari pada daya yang diterima oleh antenna. Sedangkan *bandwidth* dari antenna dapat dihitung dari nilai *return loss* di bawah -10 dB. Sehingga Antena *Rectangular Patch* hasil optimasi tersebut mempunyai *bandwidth* sebesar 113,2 MHz atau sekitar 3,77 %.

3.4.2 Simulasi VSWR

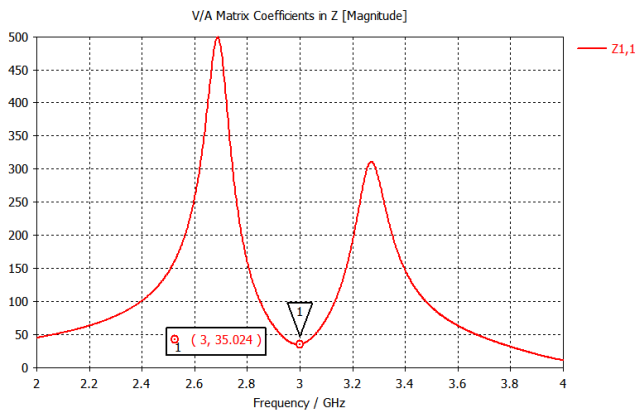
Gambar 3.14 menunjukkan nilai VSWR dari desain Antena *Rectangular Patch* Hasil Optimasi. Nilai VSWR dari hasil simulasi adalah sebesar 1,4347. Nilai VSWR yang diinginkan adalah < 2, sehingga sudah masuk kriteria yang diinginkan.



Gambar 3. 14 Hasil Simulasi VSWR Antena *Rectangular Patch*

3.4.3 Simulasi Impedansi *Input*

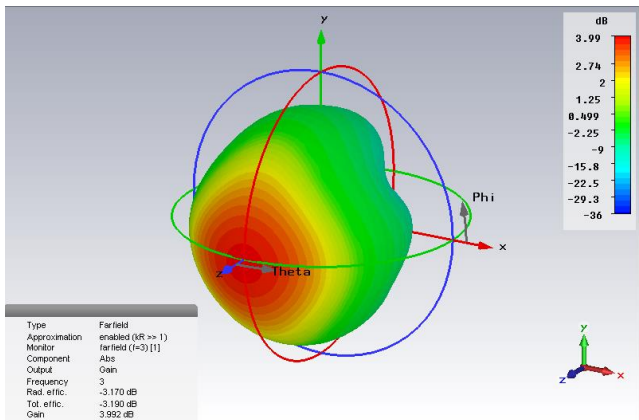
Gambar 3.15 menunjukkan nilai impedansi *input* dari desain Antena *Rectangular Patch* Hasil Optimasi. Nilai impedansi *input* dari hasil simulasi adalah sebesar 35,021 Ω dalam magnitudo *linear*. Sehingga sudah cukup mendekati dengan nilai impedansi *input* yang diinginkan.



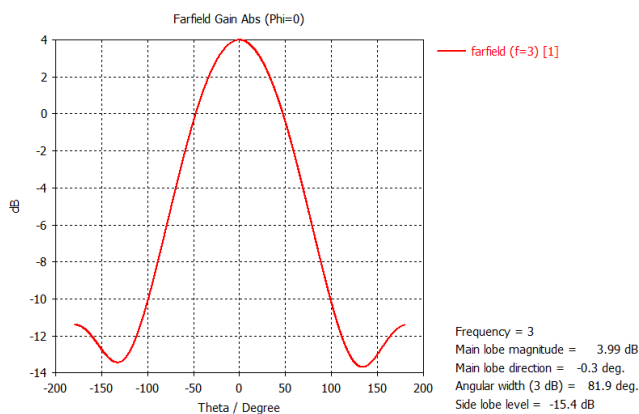
Gambar 3. 15 Hasil Simulasi Impedansi *Input* Antena *Rectangular Patch*

3.4.4 Simulasi Pola Radiasi

Pola radiasi pada simulasi dihitung pada medan jauh (*farfield*) antenna dengan *gain* terbesar ditandai dengan warna merah dan *gain* terkecil dengan warna biru. Dengan plot 3 dimensi yang ditunjukkan pada Gambar 3.16 dapat diketahui dengan mudah besar dan arah *gain* terbesar dari antenna.



Gambar 3. 16 Hasil Simulasi Pola Radiasi 3D Antena *Rectangular Patch*

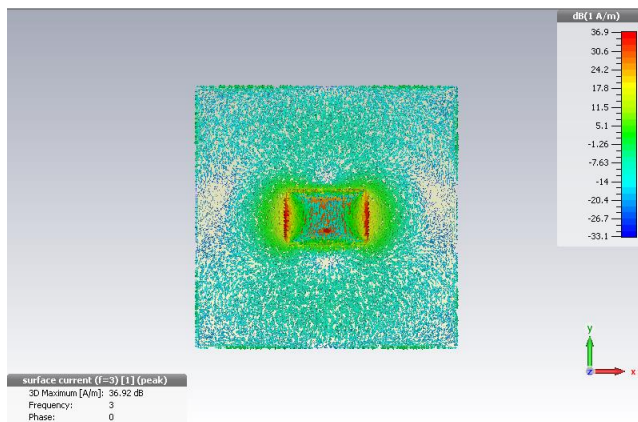


Gambar 3. 17 Hasil Simulasi Pola Radiasi Cartesian Antena *Rectangular Patch*

Pada hasil plot Cartesian yang ditunjukkan pada Gambar 3.17 dapat diketahui *gain* yang dihasilkan pada simulasi Antena *Rectangular Patch* pada frekuensi 3 GHz adalah sebesar 3,992 dB. Pada pola radiasi Antena *Rectangular Patch* ini tidak ditemukan *Side Lobe* karena merupakan antena mikrostrip *single* elemen, tetapi terdapat *Back Lobe* yang nilainya relatif kecil. Pola radiasi Antena *Rectangular Patch* mencapai *Half Power Beamwidth* (HPBW) pada 81,9°. Sedangkan besar *Back Lobe* adalah -15,4 dB.

3.4.5 Simulasi *Surface Current* Antena *Rectangular Patch* pada Frekuensi 3 GHz

Surface Current pada Gambar 3.18 merupakan hasil simulasi yang menunjukkan distribusi arus pada permukaan antena dimana warna merah menunjukkan tingkat densitas arus yang tinggi dan warna biru menunjukkan tingkat densitas arus yang rendah. Densitas arus terkonsentrasi di tengah antena yaitu pada bagian *patch* ditunjukkan dengan warna merah di tengah dan hingga tepi *patch*. Pada bagian luar antena selain *patch*, densitas arus relatif rendah ditunjukkan dengan warna hijau hingga biru.



Gambar 3. 18 Hasil Simulasi *Surface Current* Antena *Rectangular Patch* pada Frekuensi 3 GHz

3.4.6 Rangkumanan Parameter Hasil Simulasi Antena *Rectangular Patch*

Dari hasil simulasi beberapa parameter Antena *Rectangular Patch*, dapat dibuat sebuah tabel yang menunjukkan rangkuman apakah parameter kerja antenna tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dapat dilihat pada Tabel 3.5 bahwa seluruh parameter Antena *Rectangular Patch* sudah sesuai dengan spesifikasi antenna yang diinginkan.

Tabel 3. 5 Parameter Simulasi Antena *Rectangular Patch*

Parameter	Nilai
Frekuensi Kerja	3 GHz
<i>S-Parameter</i>	-14,965 dB
<i>Bandwidth</i>	113,2 MHz atau sekitar 3,77 %
VSWR	1,4347
Impedansi <i>Input</i>	35,021 Ω
<i>Gain</i>	3,992 dB
<i>Side Lobe Level</i>	Tidak ada
<i>Back Lobe</i>	-15,4 dB
HPBW	81,9°

3.5 Perancangan Antena Array

Perancangan Antena Array dimulai setelah mengetahui dimensi Antena *Rectangular Patch* yang hasil parameter kerjanya sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Beberapa parameter desain Antena Array dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Parameter Desain Antena Array

Spesifikasi Antena	Keterangan
Bentuk <i>Patch</i> Antena	<i>Rectangular</i>
Frekuensi Tengah	3 GHz
<i>Return Loss</i>	< -10 dB
VSWR	< 2
Metode Pencatuan	<i>Probe Feeding</i>
Impedansi <i>Input</i>	$\pm 50\Omega$
Pola Radiasi	<i>Directional</i>

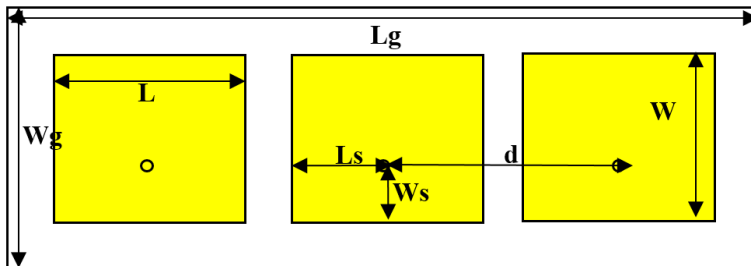
3.5.1 Dimensi Antena Array

Setelah menentukan dimensi Antena *Rectangular Patch* yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan, dilakukan penambahan dua *patch* dengan dimensi dan struktur yang sama di sebelah kiri dan kanan *patch* antena awal yang masing-masing berjarak 0,5 panjang gelombang. Penambahan *patch* tersebut mengakibatkan pelebaran *substrate* dan *groundplane*. Dimensi Antena Array dapat dilihat pada Tabel 3.7.

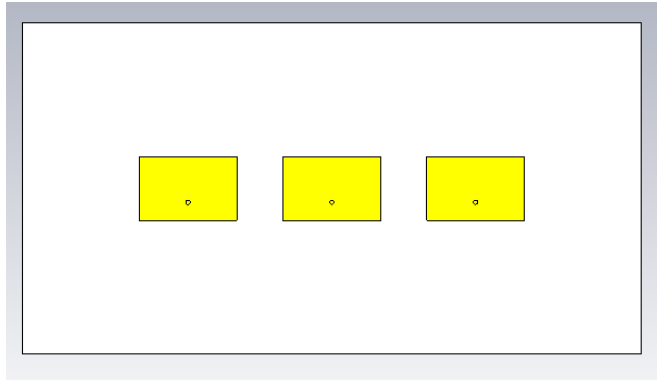
Tabel 3. 7 Dimensi Antena Array yang Disimulasikan

Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Pajang <i>Patch</i>	L	33,48
Lebar <i>Patch</i>	W	22,5
Pajang <i>Groundplane</i>	L_g	210
Lebar <i>Groundplane</i>	W_g	110
Koordinat Pencatuan (Panjang)	L_s	5
Koordinat Pencatuan (Lebar)	W_s	11,25
Jarak Antar Elemen	d	50

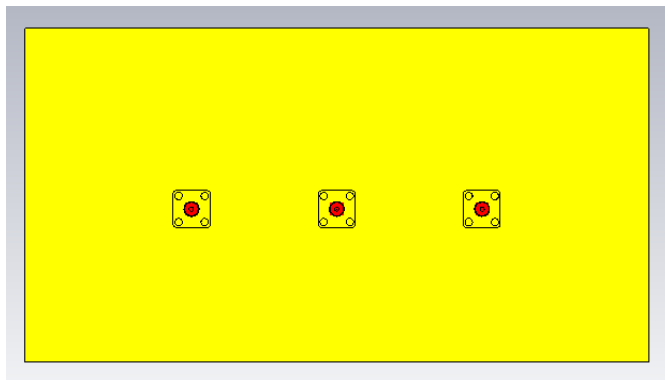
Patch tambahan tersebut berfungsi sebagai penerima efek dari *mutual coupling* dari antena yang memancarkan daya disebelahnya. Antena yang diinginkan memiliki rentang frekuensi kerja di pita *S-Band* (2-4 GHz) dengan frekuensi tengah 3 GHz, sehingga jarak 0,5 panjang gelombang adalah sebesar 50 mm. Geometri dari Antena Array dapat dilihat pada Gambar 3.19. Sedangkan hasil desain Antena Array pada CST *Microwave Studio* 2014 Tampak Depan ditunjukkan pada Gambar 3.20.



Gambar 3. 19 Geometri Antena Array



Gambar 3. 20 Desain Antena Antena Array pada CST *Microwave Studio* 2014 Tampak Depan



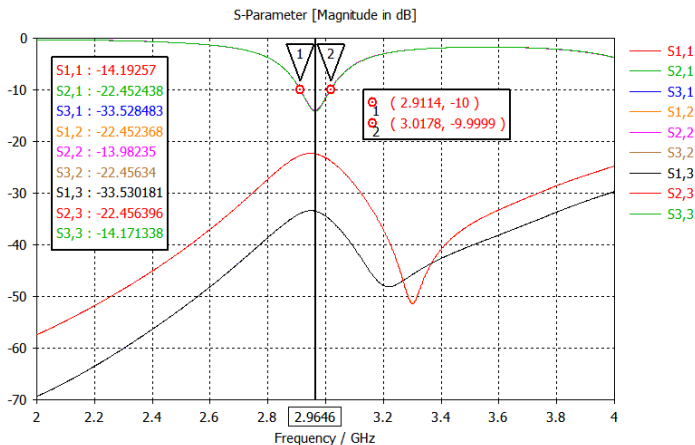
Gambar 3. 21 Desain Antena Antena Array pada CST *Microwave Studio* 2014 Tampak Belakang

Tampilan Antena Array tampak belakang dapat dilihat pada Gambar 3.21. Pada simulasi antena array ini tidak menggunakan satu pencatutan karena ingin melihat efek yang ditimbulkan apabila semua elemen dicatu dengan amplitudo daya dan fasa yang sama. Maka dirancanglah Antena Array 3 elemen yang memiliki 3 *port* (terdapat satu *port* pada setiap elemen), sehingga *S-Parameter* akan menampilkan nilai *return loss* dan *mutual coupling* dari antena tersebut.

3.5.2 Simulasi *S-Parameter* Antena Array

Setelah melakukan perancangan Antena Array, yang dilakukan berikutnya adalah menyimulasikan antena tersebut pada CST *Microwave Studio* 2014. Karena antena yang disimulasikan adalah antena array 3 elemen yang memiliki 3 *port* dan masing-masing *port* tersebut dicatu, maka *S-Parameter* yang muncul adalah sebanyak 9 garis S_{mn} dimana $m, n = 1, 2, 3$. *S-Parameter* yang akan muncul adalah : S_{11} , S_{22} , dan S_{33} yang merupakan nilai *return loss* dari 3 elemen antena dengan masing-masing *port* pencatuan, dan S_{12} , S_{21} , S_{23} , S_{32} , S_{31} , dan S_{13} merupakan *mutual coupling*.

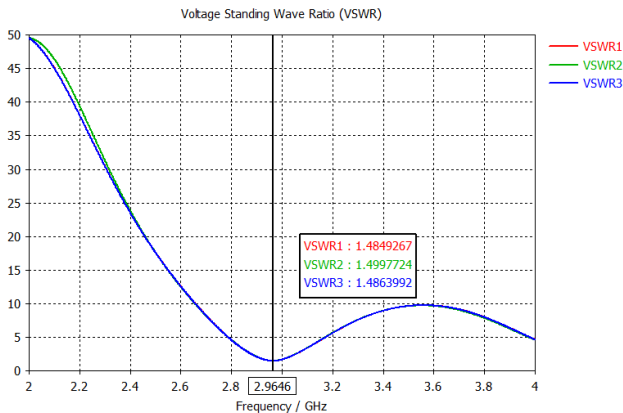
Pada Gambar 3.22 merupakan hasil *S-Parameter* dari Antena Array. Nilai dari S_{11} , S_{22} , dan S_{33} berturut-turut sebesar -14,19 dB, -13,98 dB, -14,17 dB. Nilai S_{12} , S_{21} , S_{23} , dan S_{32} berturut-turut adalah sebesar -22,45 dB, sedangkan nilai S_{13} dan S_{31} adalah -33,52 dB. Sehingga dapat disimpulkan bahwa parameter kerja *S-Parameter* Antena Array sudah bagus karena nilai dari *S-Parameter* < -10 dB. Untuk menentukan *bandwidth* dari Antena Array, dapat dihitung dari nilai *return loss* dibawah -10 dB dari nilai S_{11} , S_{22} , dan S_{33} . Sehingga, *bandwidth* dari Antena Array yang disimulasikan adalah sebesar 106,4 MHz atau 3,54 %.



Gambar 3. 22 Hasil Simulasi *S-Parameter* Antena Array

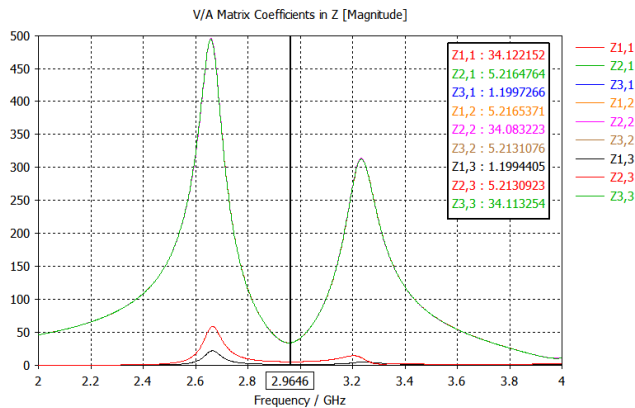
3.5.3 Simulasi VSWR Antena Array

Pada Gambar 3.23 merupakan hasil VSWR dari Antena Array. Nilai VSWR dari Antena Array yang disimulasikan adalah VSWR 1 sebesar 1,48 untuk elemen 1, VSWR 2 sebesar 1,49 untuk elemen 2, dan VSWR 3 sebesar 1,48 untuk elemen 3. Karena nilai VSWR dari antena < 2, maka Antena Array sudah masuk dalam kategori yang diinginkan.



Gambar 3. 23 Hasil Simulasi VSWR Antena Array

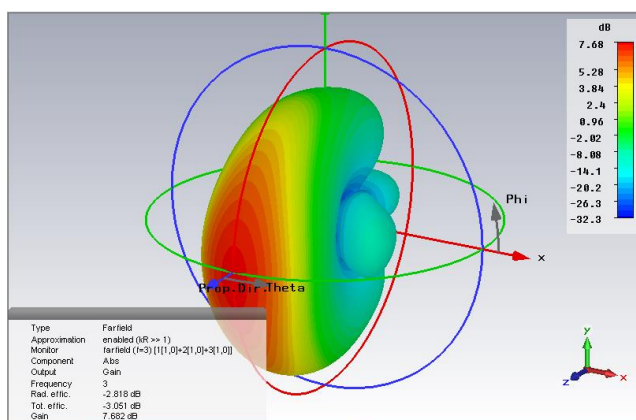
3.5.4 Simulasi Impedansi *Input* Antena Array



Gambar 3. 24 Hasil Simulasi Impedansi *Input* dari Antena Array

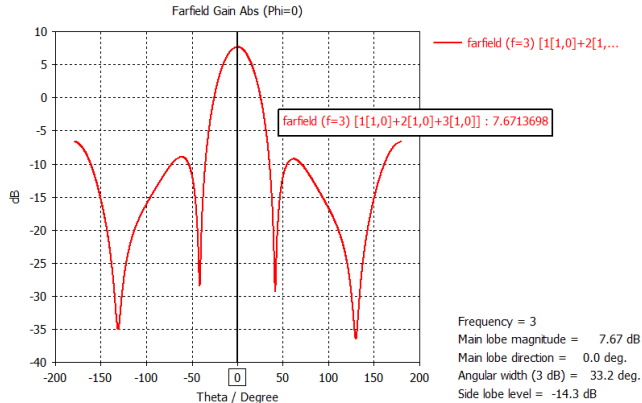
Gambar 3.24 menunjukkan impedansi *input* dari Antena Array yang disimulasikan dimana memiliki impedansi *input* Z11 sebesar 34,12 Ω untuk elemen 1, Z22 sebesar 34,08 Ω untuk elemen 2, dan Z33 sebesar 34,11 Ω untuk elemen 3 dalam magnitudo linear. Karena impedansi *input* yang diinginkan adalah sebesar $\pm 50 \Omega$ maka nilai impedansi *input* Antena Array sudah mendekati impedansi *input* yang diinginkan.

3.5.5 Simulasi Pola Radiasi Antena Array pada Frekuensi 3 GHz



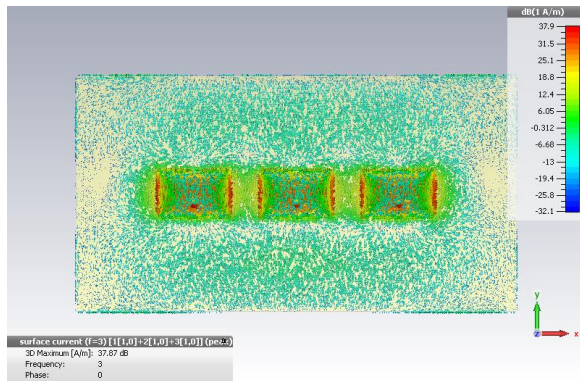
Gambar 3. 25 Hasil Simulasi Pola Radiasi 3D Antena Array pada Frekuensi 3 GHz

Pada hasil plot 3D yang ditunjukkan pada Gambar 3.25, *gain* dari Antena Array pada frekuensi 3 GHz yang dicatu pada semua *port* adalah sebesar 7,67 dB. Pada hasil pola radiasi Cartesian yang ditunjukkan pada Gambar 3.26 dari Antena Array pada frekuensi 3 GHz yang dicatu pada semua *port*, memiliki *Side Lobe Level* (SLL) sebesar -16,649 dB. Mencapai *Half Power Beamwidth* (HPBW) pada $33,2^\circ$, sedangkan besar *Back Lobe* adalah -14,3 dB. Dapat disimpulkan dengan adanya penambahan elemen antena (antena disusun array linear 3 elemen) mengakibatkan perubahan pola radiasi yang semula tidak terdapat *Side Lobe* menjadi ada *Side Lobe*, dan naiknya *Back Lobe*. Di sisi lain *gain* antena bertambah dan HPBW menurun.



Gambar 3. 26 Hasil Simulasi Pola Radiasi Cartesian Antena Array pada Frekuensi 3 GHz

3.5.6 Simulasi *Surface Curret* Antena Array pada Frekuensi 3 GHz



Gambar 3. 27 Hasil Simulasi *Surface Current* Antena Array

Gambar 3.27 merupakan hasil *surface current* yang menunjukkan distribusi arus dari simulasi Antena Array yang dicatu pada semua *port*. Dapat terlihat *mutual coupling* yang ditunjukkan pada Gambar 3.27 yang ditunjukkan dengan adanya warna kuning yang terletak di jarak antara *patch* satu dengan yang lainnya. Indikasi warna kuning pada bagian yang diapit dua buah *patch* menjelaskan adanya energi yang

ditransmisikan keluar *patch* menuju *patch* disebelahnya. Energi yang mengalir pada *substrate* tersebut akhirnya diserap oleh *patch* yang lain sehingga mengakibatkan adanya energi tambahan yang ikut dipancarkan kembali dengan sifat yang berbeda dari energi awal yang seharusnya dipancarkan oleh *patch* tersebut.

3.5.7 Rangkumanan Parameter Hasil Simulasi Antena Array

Dari hasil simulasi beberapa parameter Antena Array, dapat dibuat sebuah tabel yang menunjukkan rangkuman apakah parameter kerja antena tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dapat dilihat pada Tabel 3.8 bahwa seluruh parameter Antena Array sudah sesuai dengan spesifikasi antena yang diinginkan.

Tabel 3. 8 Parameter Simulasi Antena Array

Parameter	Nilai
Frekuensi Kerja	2,9646 GHz
S11	-14,19 dB
S22	-13,98 dB
S33	-14,17 dB
S12	-22,45 dB
S21	-22,45 dB
S23	-22,45 dB
S32	-22,45 dB
S13	-33,52 dB
S31	-33,52 dB
Bandwidth	106,4 MHz atau 3,54 %
VSWR1	1,48
VSWR2	1,49
VSWR3	1,48
Impedansi Input	34,12 Ω
Gain	7,67 dB
Side Lobe Level	-16,649 dB
Back Lobe	-14,3 dB
HPBW	33,2°

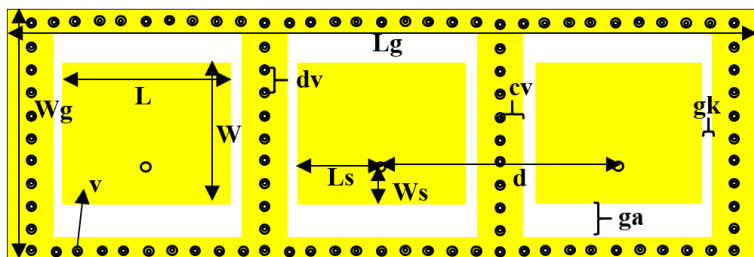
3.6 Perancangan dan Hasil Simulasi Antena Array CBS

Perancangan Antena Array CBS dimulai setelah ditentukan dimensi dari Antena Array yang mempunyai parameter kerja antena

yang diinginkan. Perancangan antenna ini dilakukan dengan menambahkan CBS pada Antena Array dengan geometri tertentu. Parameter desain antenna yang telah ditentukan dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3. 9 Parameter Desain Antena Array CBS

Spesifikasi Antena	Keterangan
Bentuk <i>Patch</i> Antena	<i>Rectangular</i>
Frekuensi Tengah	3 GHz
<i>Return Loss</i>	< -10 dB
VSWR	< 2
Metode Pencatuan	<i>Probe Feeding</i>
Impedansi <i>Input</i>	$\pm 50\Omega$
Pola Radiasi	<i>Directional</i>



Gambar 3. 28 Geometri Antena Array CBS

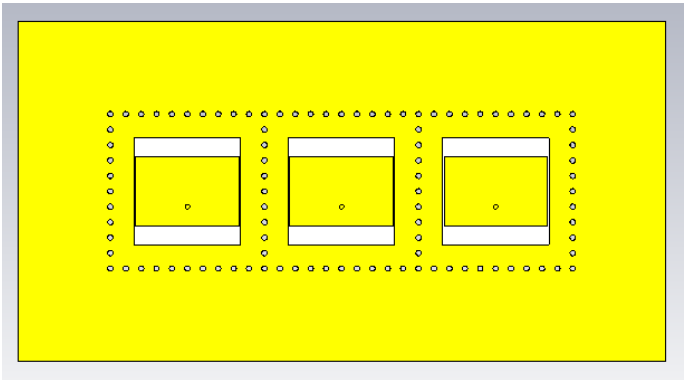
Gambar 3.28 menunjukkan Geometri dari Antena Array CBS. Tabel 3.10 menunjukkan dimensi dari Antena Array CBS. Sedangkan desain Antena Array CBS yang merupakan hasil penambahan Antena Array dengan CBS ditunjukkan pada Gambar 3.29 dan Gambar 3.30.

Pada perancangan desain Antena Array CBS, perlu diperhatikan bahwa dalam mendesain tujuh buah desain ini, parameter desain yang tidak diubah adalah dimensi *patch*, dimensi *groundplane* dan *substrate*, jarak antar elemen, serta jarak antar lubang *via* dari ujung paling kiri hingga yang paling kanan selalu tetap sebesar 150 mm untuk mempermudah perancangan geometri lubang *via*. Selain itu, hal ini dilakukan untuk membuktikan pengaruh perubahan jumlah dan jarak antar lubang *via* terhadap isolasi antar elemen, sehingga parameter

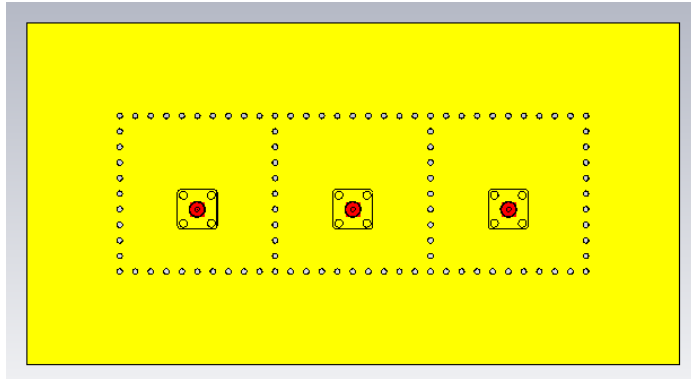
desain yang bukan merupakan variabel ditetapkan sebagai nilai yang konstan.

Tabel 3. 10 Dimensi Antena Array CBS Hasil Penambahan Antena Array dengan CBS

Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Pajang <i>Patch</i>	L	33,48
Lebar <i>Patch</i>	W	22,5
Pajang <i>Groundplane</i>	L_g	210
Lebar <i>Groundplane</i>	W_g	110
Koordinat Pencatuan (Panjang)	L_s	5
Koordinat Pencatuan (Lebar)	W_s	11,25
Jarak Antar Elemen	d	50
Diamter Lubang <i>Via</i>	v	1,728
Jarak Antar Lubang <i>Via</i>	dv	5
<i>Gap</i> Antara Tepi Luar <i>Patch</i> dengan Tepi Dalam <i>Outer Patch</i> Atas atau Bawah	ga	6.03
<i>Gap</i> Antara Tepi Luar <i>Patch</i> dengan Tepi Dalam <i>Outer Patch</i> Kiri atau Kanan	gk	0,54
Jarak Antara Tepi dalam <i>Outer Patch</i> dengan Pusat Masing -Masing Lubang <i>Via</i>	cv	6,856



Gambar 3. 29 Desain Antena Array CBS Hasil Penambahan Antena Array dengan CBS Tampak Depan



Gambar 3. 30 Desain Antena Array CBS Hasil Penambahan Antena Array dengan CBS Tampak Belakang

Dengan tujuh buah desain tersebut diharapkan dapat diketahui pengaruh jumlah dan jarak antar lubang *via* terhadap isolasi antar elemen. Oleh karena itu dibuat tabel untuk membandingkan hasil *mutual coupling* terhadap perubahan jumlah dan jarak antar lubang *via* yang ditunjukkan pada Tabel 3.10.

Tabel 3. 11 Perubahan *Mutual Coupling* terhadap Perubahan Jumlah dan Jarak Antar Lubang *Via*

Desain Lubang <i>Via</i>		Frekuensi Kerja (GHz)	<i>Return Loss</i>	<i>Mutual coupling</i>	
Jumlah Lubang <i>Via</i> (buah/sisi)	Jarak Antar Lubang <i>Via</i> (mm)		S11, S22, dan S33	S12 dan S21 (dB)	S23 dan S32 (dB)
5	12,5	3,004	-14,07	-21,05	-21,05
7	8,34	2,9301	-23,67	-21,37	-21,37
9	6,25	2,953	-19,03	-21,48	-21,48
11	5	2,9363	-16,66	-23,66	-23,64
13	4,16	3,007	-27,81	-24,29	-24,28
15	3,57	2,967	-6,08	-24,30	-26,32
17	3,125	3,008	-17,98	-24,34	-24,30

Setelah menyimulasikan desain Antena Antena Array CBS hasil penambahan Antena Array dengan CBS menggunakan berbagai jumlah dan jarak antar lubang *via* yang berbeda, maka dipilih hasil yang optimal dari seluruh pilihan desain yang ada.

Jika dilihat dari perubahan jumlah lubang *via* dari 5 buah/sisi hingga 17 buah/sisi, pengurangan *mutual coupling* cenderung mengalami saturasi mulai dari desain Antena Array CBS *Via* 11. Hal ini dibuktikan dengan adanya perubahan nilai pengurangan *Mutual coupling* yang tidak terlalu signifikan dari *Via* 11, *Via* 15, hingga *Via* 17. Pengurangan *mutual coupling* pada desain Antena Array CBS *Via* 11 merupakan pengurangan yang paling tinggi dan efektif dengan mempertimbangkan parameter kerja antena berupa frekuensi kerja dan *return loss* dari antena array tersebut serta kesederhanaan geometri antena.

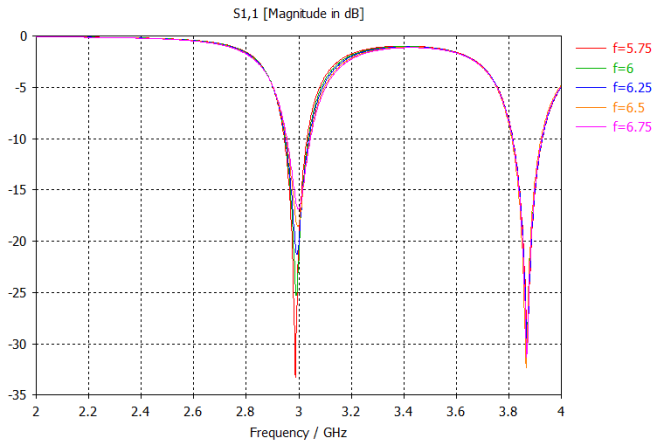
Dalam perancangan antena yang mempunyai frekuensi kerja 3 GHz, jarak seperdelapan panjang gelombang adalah sebesar 5,765 mm, sedangkan jarak lubang *via* pada desain Antena Array CBS *Via* 11 adalah sebesar 5 mm. Sehingga, jarak antar lubang *via* memenuhi kriteria yang disebutkan pada jurnal berjudul “*Using Via Fences for Crosstalk Reduction in PCB Circuits*”, dimana jarak antar lubang *via* tidak lebih dari seperdelapan panjang gelombang. Oleh karena itu, dipilih desain Antena Array CBS *Via* 11, dengan jumlah lubang *via* sebanyak 11 buah/sisi dan jarak antar lubang *via* sebesar 5 mm.

3.6.1 Analisis *Parameter Sweep* pada Desain Antena Array CBS

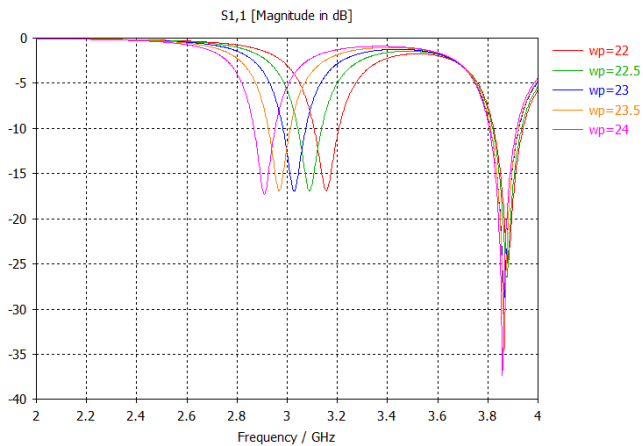
Selanjutnya desain Antena Array CBS *Via* 11 dioptimasi lagi menggunakan fitur *Parameter Sweep* pada CST *Microwave Studio* 2014 untuk memperoleh hasil yang lebih optimal. Untuk mendapatkan dimensi dan geometri peletakan CBS yang optimal dilakukan *sweep* pada beberapa parameter desain Antena Array CBS, antara lain yaitu dimensi *patch* (L dan W), dimensi *groundplane* dan *substrate* (Lg dan Wg), serta *feeding point* (Ls dan Ws).

Sweep juga dilakukan terhadap dimensi dari CBS itu sendiri yaitu diameter lubang *via* (v), serta jarak tepi dalam *outer patch* dengan lubang *via* (ga dan gk). Beberapa contoh perubahan *S-Parameter* karena pengaruh *Parameter Sweep* ditunjukkan pada Gambar 3.31, Gambar 3.32, dan Gambar 3.33 yang merupakan pengaruh perubahan kinerja antena berupa *S-Parameter* terhadap perubahan dimensi *feeding point*,

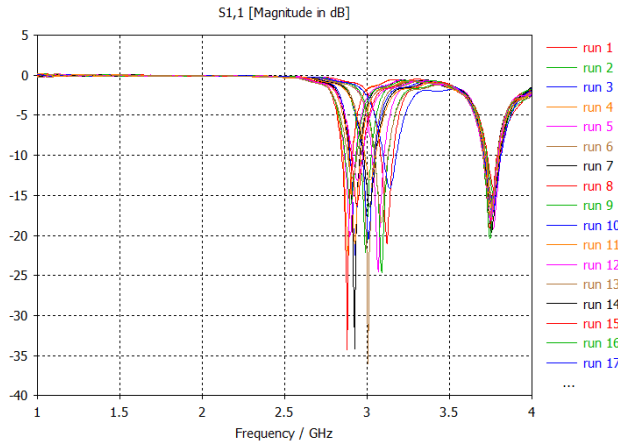
lebar *patch*, serta kombinasi antar *feeding point* dengan lebar *patch* secara berturut turut.



Gambar 3. 31 Perubahan *S-Parameter* Antena Array CBS Via 11 Ketika *Sweep* Parameter f (*Feeding Point*)



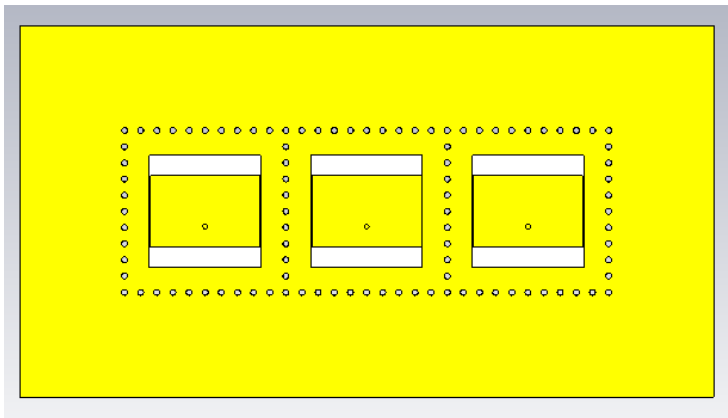
Gambar 3. 32 Perubahan *S-Parameter* Antena Array CBS Via 11 Ketika *Sweep* Parameter w_p (*Lebar Patch*)



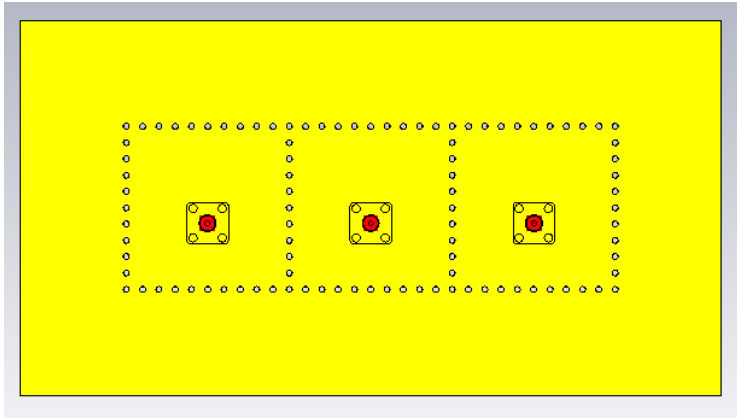
Gambar 3. 33 Perubahan *S-Parameter* Antena Array CBS Via 11 Ketika *Sweep Parameter* f (*Feeding Point*) dan w_p (*Lebar Patch*)

3.6.2 Dimensi Antena Array CBS

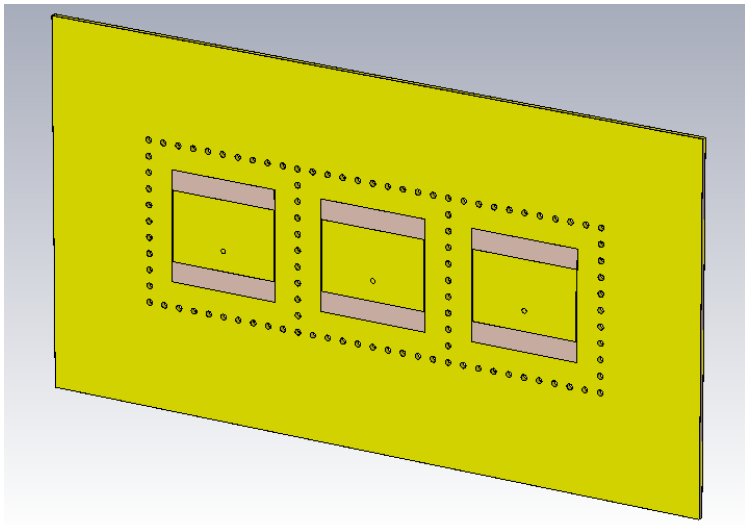
Desain dan dimensi Antena Array CBS yang telah dioptimasi dan ditunjukkan pada Gambar 3.34, Gambar 3.35, Gambar 3.36, dan Tabel 3.12.



Gambar 3. 34 Dimensi Antena Array CBS Hasil Optimasi Tampak Depan



Gambar 3. 35 Dimensi Antena Array CBS Hasil Optimasi Tampak Belakang



Gambar 3. 36 Dimensi Antena Array CBS Hasil Optimasi Tampak Perspektif

Tabel 3. 12 Dimensi Antena Array CBS Slot Hasil Optimasi

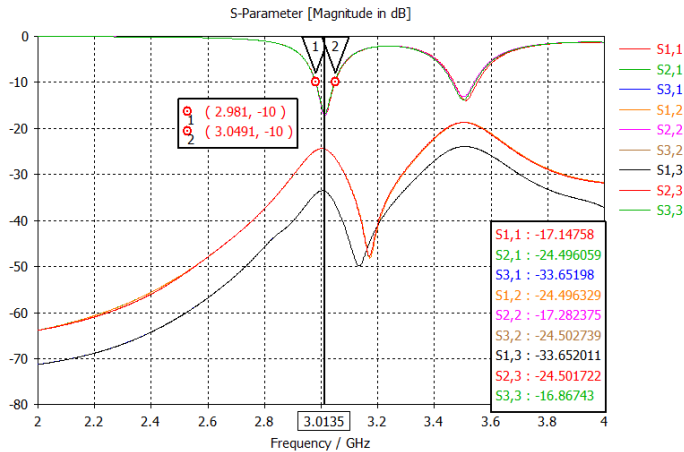
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Pajang <i>Patch</i>	L	33,48
Lebar <i>Patch</i>	W	23,22
Pajang <i>Groundplane</i>	L_g	210
Lebar <i>Groundplane</i>	W_g	110
Koordinat Pencatuan (Panjang)	L_s	5,75
Koordinat Pencatuan (Lebar)	W_s	11,61
Jarak Antar Elemen	d	50
Diamter Lubang <i>Via</i>	v	1,728
Jarak Antar Lubang <i>Via</i>	dv	5
Gap Antara Tepi Luar <i>Patch</i> dengan Tepi Dalam <i>Outer Patch</i> Atas atau Bawah	ga	6.03
Gap Antara Tepi Luar <i>Patch</i> dengan Tepi Dalam <i>Outer Patch</i> Kiri atau Kanan	gk	0,54
Jarak Antara Tepi dalam <i>Outer Patch</i> dengan Pusat Masing -Masing Lubang <i>Via</i>	cv	6,856

Simulasi yang dilakukan sama dengan simulasi Antena Array CBS yang menggunakan pencatuan pada semua *port* untuk melihat pengaruh CBS terhadap pengurangan *mutual coupling*.

3.6.3 Simulasi *S-Parameter* Antena Array CBS

Setelah mengetahui dimensi dari CBS yang diposisikan pada Antena Array CBS dengan *Parameter Sweep*, kemudian dilakukan simulasi antena tersebut. Pada Gambar 3.37 merupakan hasil *S-Parameter* dari Antena Array CBS. Karena posisi dari masing-masing antena simetris, maka nilai dari S11, S22, dan S33 adalah nilai *return loss* dari 3 elemen antena dengan masing-masing *port* pencatuan, dan S12, S21, S23, dan S32 merupakan *mutual coupling* dari masing-masing *port* pencatuan.

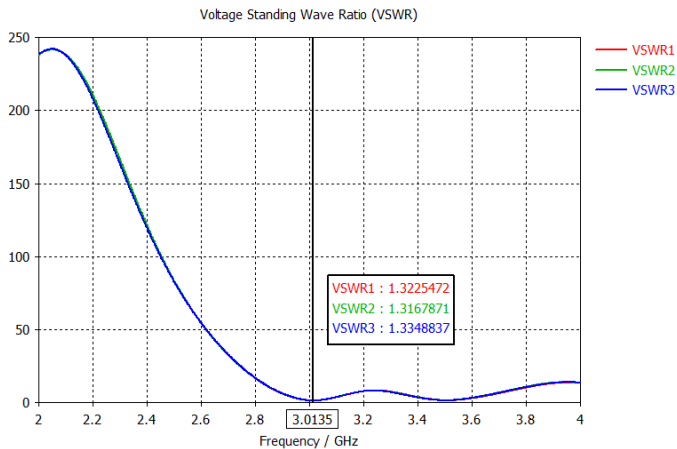
Nilai dari S11, S22, dan S33 adalah berturut-turut adalah -17,14 dB, -17,28 dB dan -16,68 dB. Nilai S12, S21, S23, dan S32 berturut-turut adalah -24,49 dB, -24,50 dB, -24,50 dB, dan -24,50 dB. Sedangkan nilai S13 dan S31 adalah -33,65 dB. Dapat disimpulkan bahwa *S-Parameter* Antena Array CBS sudah bagus dan sesuai dengan karakteristik yang diinginkan karena bernilai < -10 dB.



Gambar 3. 37 Hasil Simulasi *S-Parameter* Antena Array CBS

Untuk menentukan *bandwidth* dari antena, dapat dihitung dari nilai *return loss* dibawah -10 dB. Sehingga, *bandwidth* dari Antena Array CBS yang disimulasikan adalah sebesar 68,1 MHz atau 2,27 %.

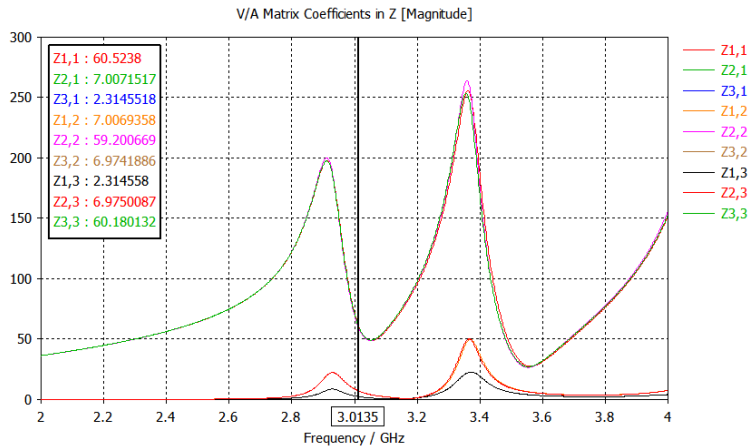
3.6.4 Simulasi VSWR Antena Array CBS



Gambar 3. 38 Hasil Simulasi VSWR Antena Array CBS

Pada Gambar 3.38 merupakan hasil VSWR dari Antena Array CBS. Nilai dari hasil VSWR yang ditampilkan merupakan hasil masing-masing *port* pencatutan. Sehingga karena identik dan simetris, maka nilai dari VSWR yang disimulasikan juga sama satu dan lainnya. Nilai VSWR dari Antena Array CBS yang disimulasikan adalah VSWR 1 sebesar 1,32 untuk elemen 1, VSWR 2 sebesar 1,31 untuk elemen 2, VSWR 3 sebesar 1,33 untuk elemen 3. Karena nilai VSWR < 2, maka Antena Array CBS sudah masuk dalam kategori yang diinginkan.

3.6.5 Simulasi Impedansi *Input* Antena Array CBS



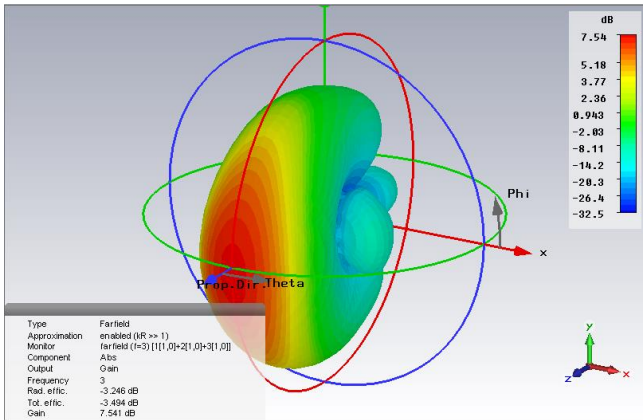
Gambar 3. 39 Hasil Simulasi Impedansi *Input* Antena Array CBS

Gambar 3.39 menunjukkan Antena Array CBS yang disimulasikan memiliki impedansi *input* Z11 sebesar 59,56 Ω , Z22 sebesar 58,30 Ω , dan Z33 sebesar 59,25 Ω dalam magnitudo *linear*. Karena impedansi *input* yang diinginkan adalah sebesar $\pm 50 \Omega$ maka nilai impedansi *input* Antena Array CBS sudah mendekati impedansi *input* yang diinginkan.

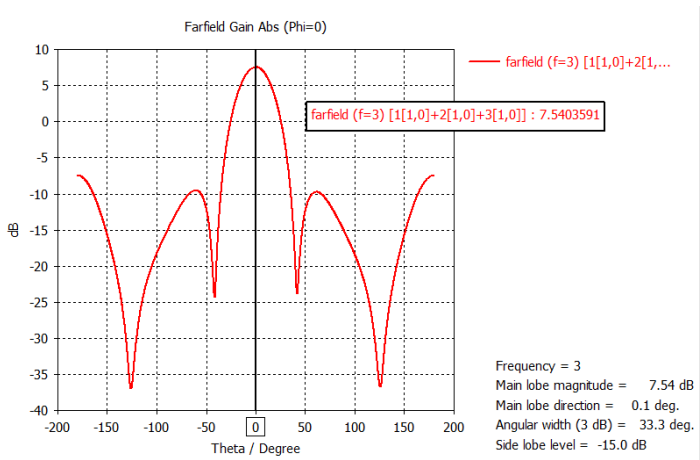
3.6.6 Simulasi Pola Radiasi Antena Array CBS

Pada hasil plot 3D yang ditunjukkan pada Gambar 3.40, *gain* yang disimulasikan pada Antena Array CBS yang dicatu pada semua *port* sebesar 7,54 dB. Pada plot Cartesian yang ditunjukkan pada

Gambar 3.41, dapat diketahui bahwa Antena Array CBS yang dicatu pada semua *port*, memiliki *Side Lobe Level* (SLL) sebesar -17,0657 dB dan mencapai *Half Power Beamwidth* (HPBW) ketika 33,3°. Sedangkan nilai *Back Lobe* adalah sebesar -15 dB.

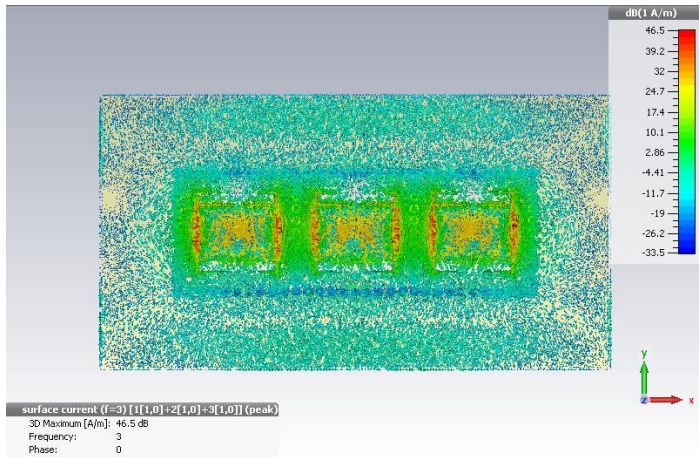


Gambar 3. 40 Hasil Simulasi Pola Radiasi 3D Antena Array CBS pada Frekuensi 3 GHz



Gambar 3. 41 Hasil Simulasi Pola Radiasi Cartesian Antena Array CBS pada Frekuensi 3 GHz

3.6.7 Hasil *Surface Current* Antena Array CBS



Gambar 3. 42 Hasil Simulasi *Surface Current* Antena Array CBS

Gambar 3.42 merupakan hasil *surface current* dari simulasi Antena Array CBS yang menunjukkan distribusi arus yang dicatu pada semua *port*. Dapat terlihat pengurangan *mutual coupling* yang ditunjukkan dengan tidak adanya warna kuning pada jarak antara *patch* satu dengan yang lainnya, sehingga berbeda dengan hasil *surface current* dari simulasi Antena Array. Arus lebih terkonsentrasi ditengah antena yaitu pada bagian *patch* antena yang diindikasikan oleh warna merah hingga kuning pada bagian *patch*. Pada bagian *outer patch* densitas arus semakin kecil dengan ditandai oleh warna hijau hingga biru yang juga lebih rendah dari pada hasil *surface current* dari simulasi Antena Array.

3.6.8 Rangkuman Hasil Simulasi Antena Array CBS

Dari hasil simulasi beberapa parameter Antena Array CBS, dapat dibuat sebuah tabel yang menunjukan rangkuman apakah parameter kerja antena tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dapat dilihat pada Tabel 3.13 bahwa seluruh parameter Antena Array CBS sudah sesuai dengan spesifikasi antena yang diinginkan.

Tabel 3. 13 Parameter Simulasi Antena Array CBS

Parameter	Nilai
Frekuensi Kerja	3,0135 GHz
S11	-17,14 dB
S22	-17,28 dB
S33	-16,68 dB
S12	-24,49 dB
S21	-24,50 dB
S23	-24,50 dB
S32	-24,50 dB
S13	-33,65 dB
S31	-33,65 dB
<i>Bandwidth</i>	68,1 MHz atau 2,27 %
VSWR1	1,32
VSWR2	1,31
VSWR3	1,33
Impedansi <i>Input</i>	59,56 Ω
<i>Gain</i>	7,54 dB
<i>Side Lobe Level</i>	-17,0657 dB
<i>Back Lobe</i>	-15 dB
HPBW	33,3°

3.7 Prosedur Pengukuran Antena

Pengukuran parameter antena diperlukan untuk mengetahui sesuai atau tidaknya kinerja dari antena yang telah difabriasi dengan simulasi. Data hasil pengukuran juga dapat dibandingkan dan dianalisis dengan data hasil simulasi menggunakan plot pada Matlab. Pengukuran parameter kerja antena berupa *S-Parameter*, VSWR, *bandwidth*, impedansi *input*, dilakukan terhadap 3 desain antena hasil fabrikasi yaitu Antena *Rectangular Patch*, Antena Array, dan Antena Array CBS. Sedangkan pengukuran Pola Radiasi dilakukan terhadap 2 desain antena yaitu Antena Array, dan Antena Array CBS.

3.7.1 Prosedur Pengukuran *S-Parameter*, VSWR, *Bandwidth*, dan Impedansi *Input*

Pengukuran *S-Parameter*, VSWR, *bandwidth*, dan impedansi *input* dilakukan dengan menggunakan alat ukur RF *Vector Network Analyzer* (VNA) dengan merk *Agilent Technologies N9922A* yang

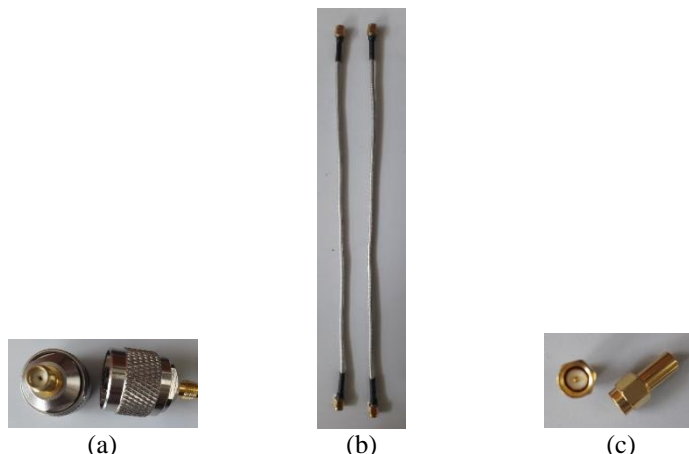
ditunjukkan pada Gambar 3.43. Selain itu, dibutuhkan beberapa alat tambahan untuk mendukung pengukuran antenna yang ditunjukkan pada Gambar 3.44. VNA yang digunakan sudah dapat mengkalibrasi secara otomatis saat *booting*, sehingga dapat langsung dipakai untuk pengukuran setelah dinyalakan. Langkah-langkah pengukuran adalah sebagai berikut:

1. Siapkan peralatan antara lain VNA, 2 buah N to SMA *connector*, 3 buah SMA to SMA *semi rigid coaxial cable*, Pensil, Penggaris, *Flash Disk*, 2 buah SMA Male RF Coaxial Termination Matched Dummy Load 50 Ω , dan antenna yang akan diukur yaitu Antena Rectangular Patch, Antena Array, dan Antena Array CBS.
2. Ubah frekuensi yang dibangkitkan oleh VNA pada tombol *Freq/Dist*, dan ubah sesuai yang diinginkan.
3. Karena jumlah *port* pada VNA hanya 2 buah, maka apabila ingin mengukur nilai *S-Parameter* dari antenna array N-elemen dengan $N > 2$, maka dapat dipasangkan SMA Male RF Coaxial Termination Matched Dummy Load 50 Ω pada *port* yang tidak dicatu atau tidak dihubungkan ke *port* pada VNA.
4. Untuk mengukur *Return Loss* masing-masing *port* pada tiap elemen, harus dipasangkan SMA Male RF Coaxial Termination Matched Dummy Load 50 Ω pada setiap *port* yang tidak akan diukur nilai *return loss*nya. Sedangkan *port* antenna yang akan diukur nilai *return loss*nya, disambungkan ke *port* yang ada pada VNA.
5. Sedangkan untuk mengukur *Mutual coupling* antar 2 elemen antenna maka harus dipasangkan SMA Male RF Coaxial Termination Matched Dummy Load 50 Ω pada setiap *port* yang tidak akan diukur nilai *Mutual coupling*nya. Sedangkan *port* antenna yang akan diukur nilai *Mutual coupling*nya, disambungkan ke 2 *port* yang ada pada VNA.
6. Sambungkan *connector* SMA pada antenna yang akan diukur parameternya ke *port* pada Network Analyzer, gunakan SMA to SMA Semi Rigid Coaxial Cable dan N to SMA *connector* untuk memudahkan pengukuran dan mengurangi efek gelombang pantul yang muncul apabila antenna langsung di hubungkan ke VNA.
7. Tekan tombol *Measure* untuk melakukan pengukuran.
8. Pilih mode pengukuran, pengukuran apa yang akan dilakukan, *Logmag* untuk mengukur *return loss* dalam satuan desibel, VSWR

- untuk pengukuran VSWR, dan *Smith* untuk pengukuran impedansi *input* dari antena.
9. Untuk *bandwidth* didapatkan dengan cara mencari selisih batas atas dan bawah frekuensi yang nilainya lebih kecil dari -10 dB pada pengukuran *return loss*.
 10. Setelah data pengukuran muncul maka selanjutnya tekan tombol *Hold* untuk menghentikan proses pengukuran dan merekam data.
 11. Pasang *Marker* pada titik-titik tertentu seperti batas bawah, dan batas atas frekuensi.
 12. Catat nilai dari pengukuran parameter kerja yang sudah ditandai dengan *Marker* untuk memudahkan saat *ploting* pada Matlab.
 13. Simpan data hasil pengukuran dengan menekan tombol *Save*. Atur tempat penyimpanan dan tipe *file* yang akan disimpan. Terdapat beberapa tipe *file* seperti .png yang berupa gambar grafik hasil pengukuran atau .csv, .s2p, atau .s3p yang berupa data hasil pengukuran.



Gambar 3. 43 RF Vector Network Analyzer (VNA) Merk Agilent Technologies N9922A yang Digunakan untuk Pengukuran



Gambar 3. 44 Alat Tambahan untuk Menunjang Pengukuran (a) *N to SMA connector* (b) *SMA to SMA Semi Rigid Coaxial Cable* (c) *SMA Male RF Coaxial Termination Matched Dummy Load 50 Ω*

3.7.2 Prosedur Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran pola radiasi antenna dilakukan di *anechoic chamber* di Laboratorium Antena dan Propagasi, Jurusan Teknik Telekomunikasi, PENS Surabaya. Alat ukur yang digunakan adalah *Spectrum Analyzer* merk ADVANTEST R3162, sedangkan antenna pentransmisi dicatu menggunakan *Analog Signal Generator* merk Agilent Technologies E8663B yang ditunjukkan pada Gambar 3.45 dan Gambar 3.46. Sedangkan antenna pentransmisi digunakan antenna *horn* yang ditunjukkan pada Gambar 3.47. Langkah –langkah pengukuran pola radiasi antenna adalah sebagai berikut :

1. Siapkan peralatan yang digunakan untuk pengukuran pola radiasi antenna anytara lain : *Spectrum Analyzer* merk ADVANTEST R3162, *Analog Signal Generator* merk Agilent Technologies E8663B, dua buah kabel *coaxial* SMA to SMA, 2 buah konektor N to SMA, Penyangga antenna, busur 360°, antenna yang akan diukur yaitu Antena Array, dan Antena Array CBS, serta *Power Divider* 1 to 3 port.
2. Sambungkan *Spectrum Analyzer* merk ADVANTEST R3162, *Analog Signal Generator* merk Agilent Technologies E8663B ke stop kontak, nyalakan tombol *power* keduanya.

3. Kalibrasi *Spectrum Analyzer* merk ADVANTEST R3162, *Analog Signal Generator* merk Agilent Technologies E8663B.
4. Letakkan antenna yang akan diukur pada ujung penyangga dan masukkan batang penyangga ke *tripot* antenna penerima yang telah ditemplei busur 360° untuk mengukur sudut perputaran antenna.
5. Letakkan antenna pentransmisi berupa antenna *horn* keujung penyangga dan masukkan batang penyangga ke *tripot* antenna pengirim
6. Hubungkan RF *Output* 50 Ω yang ada pada *Analog Signal Generator* merk Agilent Technologies E8663B dengan dengan konektor N to SMA, kabel *coaxial* SMA to SMA ke port antenna pengirim (antenna *horn*).
7. Hubungkan RF *Input* 1 pada *Spectrum Analyzer* merk ADVANTEST R3162 dengan konektor N to SMA, kabel *coaxial* SMA to SMA ke *port* antenna yang akan diukur yang sebelumnya telah disambungkan dengan *power divider* 1 to 3 *port*.
8. Untuk mengukur bidang E *copolar* maka posisi dari antenna pengirim dan antenna yang diukur harus sama-sama pada posisi horizontal, sedangkan untuk bidang H *copolar* maka posisi dari antenna pengirim dan antenna yang diukur harus sama-sama pada posisi vertikal.
9. Apabila ingin mengukur bidang E *crosspolar* maka posisi dari antenna pengirim harus horizontal sedangkan posisi dari antenna penerima harus vertikal, sedangkan untuk bidang H *crosspolar* maka posisi dari antenna pengirim harus vertikal sedangkan posisi antenna penerima harus horizontal.
10. Putar posisi sudut antenna penerima atau antenna yang diukur berdasarkan sudut yang ada dibusur, spasi sudut dapat diatur sesuai selera. Semakin kecil spasinya maka data semakin banyak sehingga plot pola radiasi yang dihasilkan juga semakin halus.
11. Ukur kuat medan antenna yang diterima oleh antenna penerima dengan cara melihat berapa dBm nilai dari puncak *spectrum* yang terukur dengan cara menekan tombol “PK SRCH” pada *Spectrum Analyzer*. Agar nilai yang muncul tidak fluktuatif dan cepat berubah maka dapat ditekan tombol “STOP”.
12. Tulislah data hasil pengukuran berdasarkan sudut perputaran antenna penerima atau antenna yang diukur pada sebuah tabel pengukuran.
13. Masukkan data hasil pengukuran pada file Excel dan olah atau plot data tersebut menggunakan *software* Matlab.



Gambar 3. 45 *Spectrum Analyzer merk ADVANTEST R3162*



Gambar 3. 46 *Analog Signal Generator merk Agilent Technologies E8663B*

3.8 Justifikasi *Mutual coupling*

Antena yang ideal adalah antena yang mampu meneruskan seluruh daya yang dicatukan padanya. Daya tersebut selanjutnya diteruskan ke antena penerima. Hanya saja, untuk merancang antena yang ideal tidaklah mudah. Ada banyak faktor yang berpengaruh diantaranya adalah kualitas bahan antena yang berpengaruh pada besarnya koefisien pantul dan efisiensi daya. Lebih-lebih apabila antena tersebut digunakan untuk aplikasi yang mengharuskan elemen antenanya disusun array, maka akan muncul masalah baru berupa induksi elektromagnetik antar elemen (*mutual coupling*) yang berdampak pada besarnya daya yang sampai pada antena penerima tidak bisa maksimal.

Seperti yang telah dijelaskan di Bab II, *mutual coupling* timbul sebagai akibat dari adanya daya yang diserap oleh elemen lain dalam array yang sama, yang seharusnya elemen tersebut juga bersifat radiatif. Oleh karena itu, kehadiran *mutual coupling* sebenarnya merupakan yang tidak dikehendaki sehingga diharapkan nilainya sekecil mungkin.

Untuk mendapatkan gambaran pengaruh besarnya nilai *mutual coupling* terhadap efisiensi daya, pada Tabel 4.14 dicontohkan beberapa perhitungan perbandingan antara daya yang diserap elemen lain dengan daya yang diradiasikan. Dalam tabel tersebut terlihat bahwa semakin kecil nilai *mutual coupling* tentu sangat baik, karena prosentase daya yang diteruskan semakin besar.

Tabel 3. 14 Pengaruh *Mutual Coupling* terhadap Daya yang Diteruskan

<i>Mutual coupling</i> (dB)	<i>Mutual coupling</i> (Linear)	Daya yang Diserap oleh Elemen Lain (%)	Daya yang Diteruskan Penerima (%)
0	1	100	0
-2,5	0,562	56,2	43,8
-5	0,31	31	69
-7,5	0,177	17,7	82,3
-10	0,1	10	90
-12,5	0,056	5,6	94,4
-15	0,031	3,1	96,9
-17,5	0,017	1,7	98,3
-20	0,01	1	99
-22,5	0,0056	0,56	99,44
-25	0,0031	0,31	99,69
-27,5	0,0017	0,17	99,83
-30	0,001	0,1	99,99
-32,5	0,00056	0,056	99,944
-35	0,00031	0,031	99,969

Sementara untuk aplikasi Radar *Surveillance* persyaratan nilai *mutual coupling* harus relatif kecil yaitu < -20 dB [11], sehingga berdasarkan tabel 4.1 lebih dari 99 % daya antenna yang diteruskan ke penerima.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV

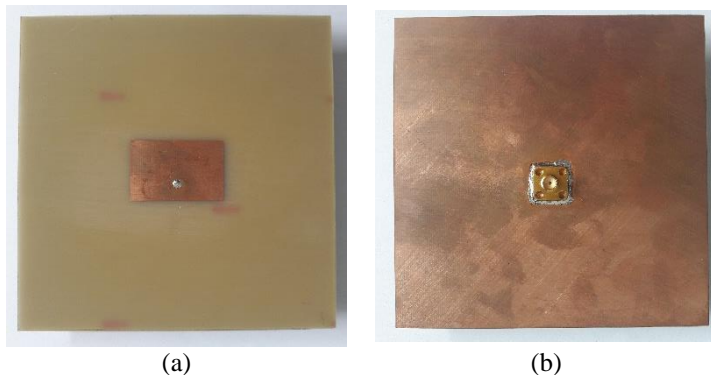
HASIL PENGUKURAN DAN ANALISA

Pada bab ini akan dibahas mengenai realisasi dan pengukuran kinerja Antena *Rectangular Patch*, Antena Array, dan Antena Array CBS yang telah dirancang pada Bab III. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui kinerja antenna yang sebenarnya. Parameter yang diukur yaitu *S-Parameter*, *bandwidth*, VSWR, impedansi *input*, dan pola radiasi. Data hasil pengukuran diplot pada Matlab dan digunakan untuk menganalisis perbedaan kinerja antenna hasil pengukuran dengan hasil simulasi sebelumnya serta untuk menganalisis perbedaan kinerja Antena Array dengan Antena Array CBS khususnya pada parameter kerja *mutual coupling*.

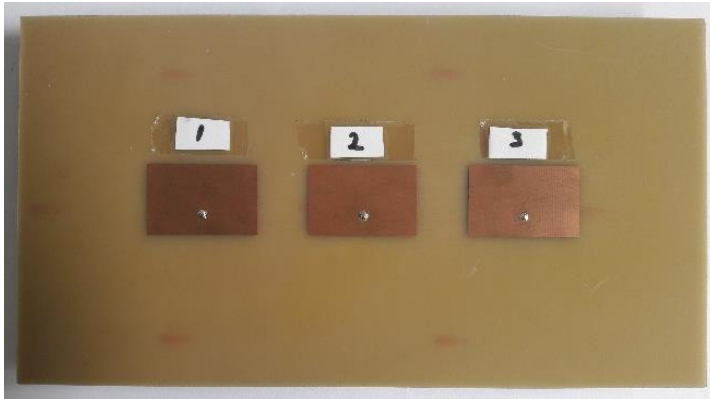
Dengan penambahan CBS diharapkan dapat meningkatkan isolasi antar elemen namun efek lain yang mungkin ditimbulkan akibat penambahan CBS juga harus dianalisa. Efek *mutual coupling* dapat mengakibatkan perubahan parameter *return loss*, *gain*, dan pola radiasi karena terdapat daya yang diserap oleh antenna disebelah antenna peradiasi (ada daya yang diteruskan).

4.1 Realisasi Antena Mikrostrip

Antena hasil fabrikasi di tunjukkan pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4. 1 Realisasi Antena *Rectangular Patch* (a) Tampak Depan
(b) Tampak Belakang



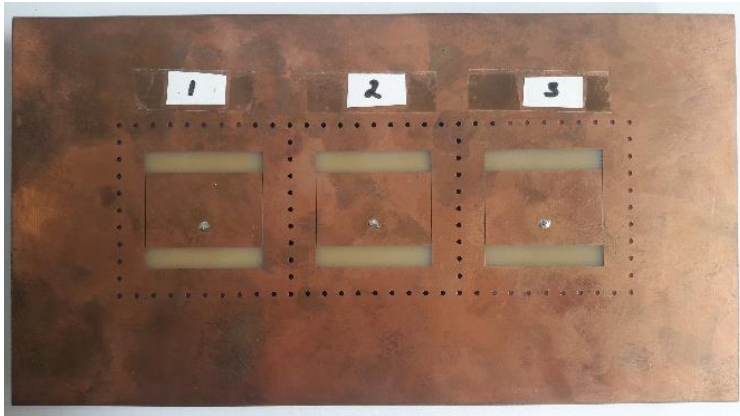
(a)



(b)

Gambar 4. 2 Realisais Antena Array (a) Tampak Depan (b) Tampak

Apabila dilihat pada Gambar 4.2 dan 4.3 yang masing-masing menunjukkan realisasi dari Antena Array dan Antena Array CBS, terdapat perbedaan yaitu adanya *cavity* dan sejumlah lubang via yang mengelilingi masing-masing *patch*. Geometri tersebut adalah bentuk dari CBS yang berfungsi untuk mengurangi densitas arus permukaan yang tidak diinginkan. Teknologi yang digunakan untuk percetakan antena ini adalah *Through Hole Plating* dimana lubang via dilaminasi dengan konduktor sehingga *outer patch* terhubung singkat dengan *groundplane*.



(a)



(b)

Gambar 4. 3 Realisasi Antena Array CBS (a) Tampak Depan (b) Tampak

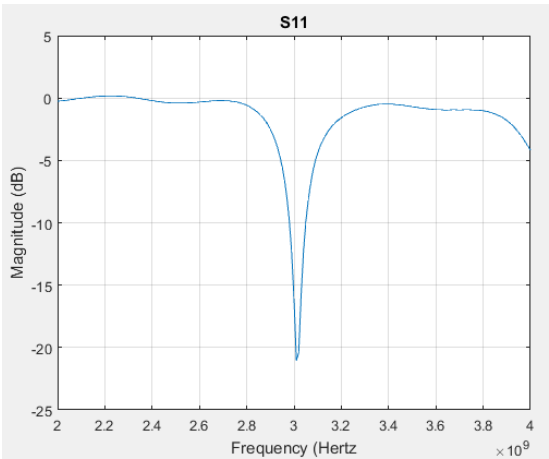
4.2 Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip

Pada bagian ini akan ditampilkan hasil pengukuran parameter-parameter antena yang telah difabrikasi, dengan menggunakan alat ukur *Vector Network Analyzer* (VNA) dan *Spectrum Analyzer*. Hanya saja untuk pengukuran pola radiasinya diperlukan alat tambahan berupa sebuah analog signal generator dan antena referensi.

Sedangkan untuk memberi gambaran visual dari dari parameter-parameter tersebut, beberapa data dari VNA maupun *Spectrum Analyzer* diplot kembali menggunakan Matlab

4.1.1 Hasil Pengukuran Antena Rectangular Patch

Pada sub bab ini ditunjukkan hasil pengukuran parameter Antena *Rectangular Patch* menggunakan alat ukur VNA dan *plotting* Matlab. Tabel 4.1 menunjukkan rangkuman hasil pengukuran Antena *Rectangular Patch*.



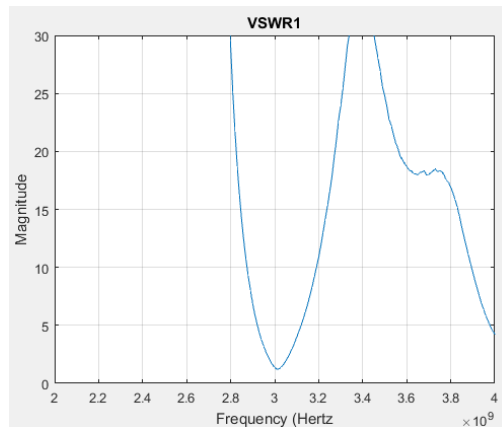
Gambar 4. 4 Hasil Pengukuran S-Parameter Antena *Rectangular Patch*

Tabel 4. 1 Parameter Kerja Antena *Rectangular Patch* Hasil Pengukuran

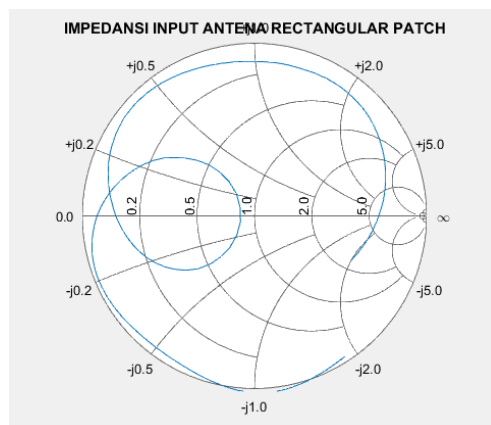
Parameter	Nilai
Frekuensi Kerja	3,01 GHz
<i>S-Parameter (Return Loss)</i>	21,06 dB
<i>Bandwidth</i>	70 MHz atau sekitar 2,3 %
VSWR	1,218
Impedansi <i>Input</i>	45,29 Ω

Hasil pengukuran *S-Parameter* dari Antena *Rectangular Patch* dapat dilihat pada Gambar 4.4. Dapat dilihat bahwa besarnya frekuensi kerja antena adalah sebesar 3,01 GHz, dengan nilai *return loss* sebesar -

21,06 dB. Dengan menggunakan referensi -10 dB, maka besarnya frekuensi minimum dan maksimum berturut-turut terdapat di 2,98 GHz dan 3,05 GHz, sehingga memiliki *bandwidth* sebesar 70 MHz atau sekitar 2,3 %. Sedangkan untuk hasil plotting VSWR (1,218) dan impedansi *input* (45,29 Ω) dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4. 5 Hasil Pengukuran VSWR Antena *Rectangular Patch*



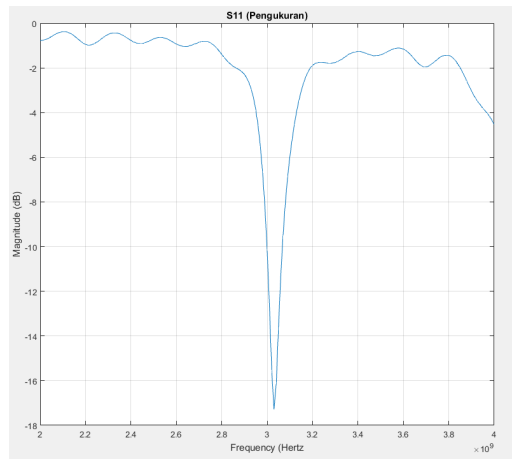
Gambar 4. 6 Hasil Pengukuran Impedansi Input Antena *Rectangular Patch*

4.1.2 Hasil Pengukuran Parameter Kerja Antena Array

Hasil pengukuran parameter kerja Antena Array menggunakan VNA, dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

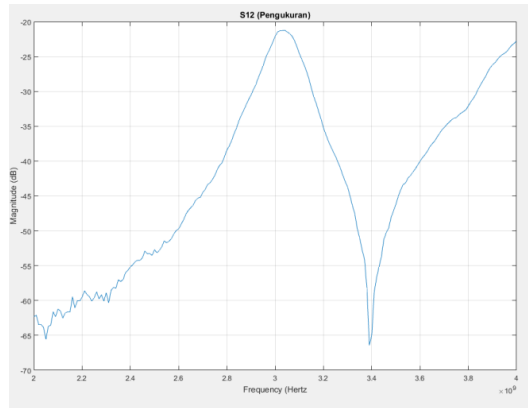
Tabel 4. 2 Parameter Kerja Antena Array Hasil Pengukuran

Parameter	Pengukuran
Frekuensi Kerja	3,03 GHz
S11	-17,28 dB
S22	-19,89 dB
S33	-18,9 dB
S12	-21,28 dB
S21	-21,21 dB
S23	-21,01 dB
S32	-21,01 dB
S13	-33,7 dB
S31	-33,8 dB
Bandwidth	60 MHz atau 1,97 %
VSWR1	1,304
VSWR2	1,289
VSWR3	1,236
Impedansi Input	44,22 Ω

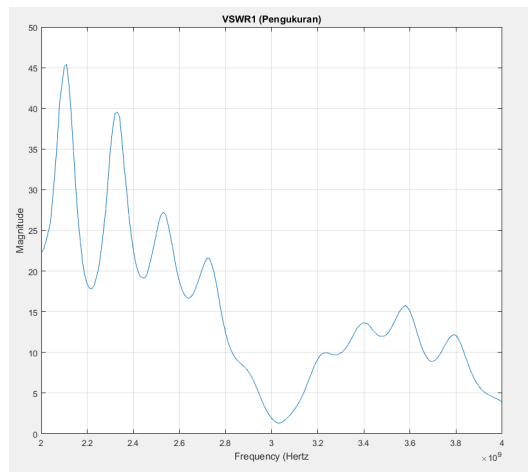


Gambar 4. 7 Contoh *Plotting Return Loss* Antena Array (S11)

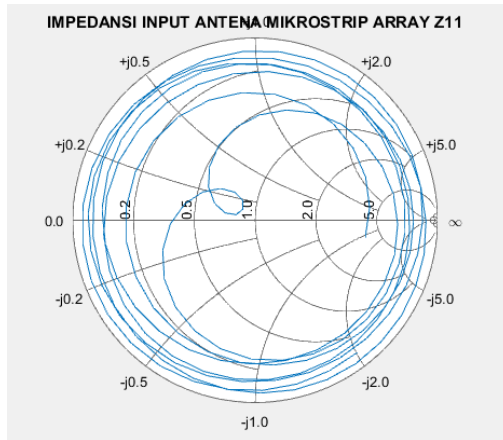
Hasil *plotting* beberapa parameter utama, yang mewakili *return loss*, *mutual coupling* dan VSWR serta impedansi *input* ditunjukkan pada Gambar 4.7 hingga Gambar 4.10. Untuk hasil *plotting* parameter kerja antenna hasil pengukuran yang lain akan ditampilkan pada Lampiran Buku Tugas Akhir ini.



Gambar 4. 8 Contoh *Plotting Mutual Coupling* Antena Array (S12)



Gambar 4. 9 Contoh *Plotting VSWR* Antena Array (Elemen 1)



Gambar 4. 10 Contoh *Plotting* Impedansi *Input* Antena Array (Elemen 1)

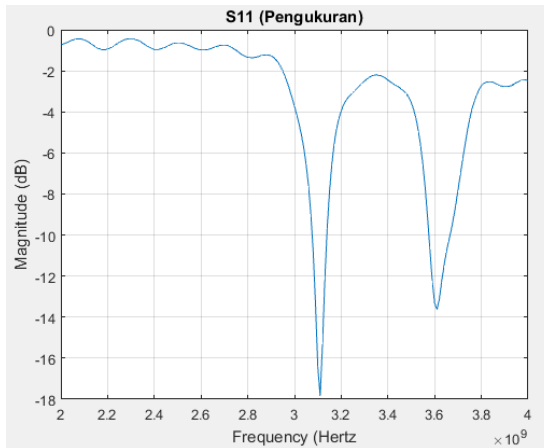
4.1.3 Pengukuran Antena Array CBS

Hasil pengukuran parameter antena array hasil fabrikasi menggunakan VNA, dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

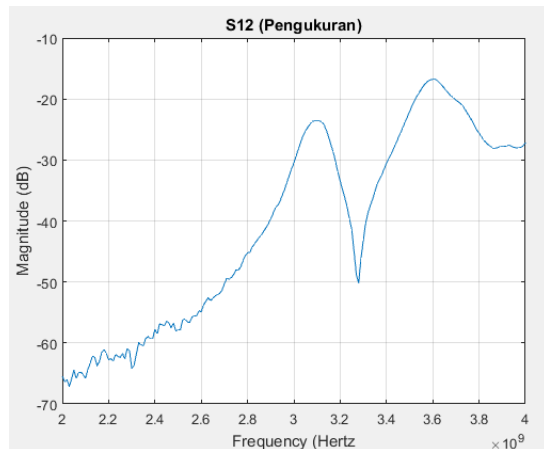
Tabel 4. 3 Parameter Kerja Antena Array CBS Hasil Pengukuran

Parameter	Pengukuran
Frekuensi Kerja	3,11 GHz
S11	-17,82 dB
S22	-19,55 dB
S33	-20,7 dB
S12	23,59 dB
S21	-23,66 dB
S23	-23,58 dB
S32	-23,54 dB
S13	-36,03 dB
S31	-35,83 dB
<i>Bandwidth</i>	50 MHz atau 1,06 %
VSWR1	1,195
VSWR2	1,243
VSWR3	1,191
Impedansi <i>Input</i>	48,57 Ω

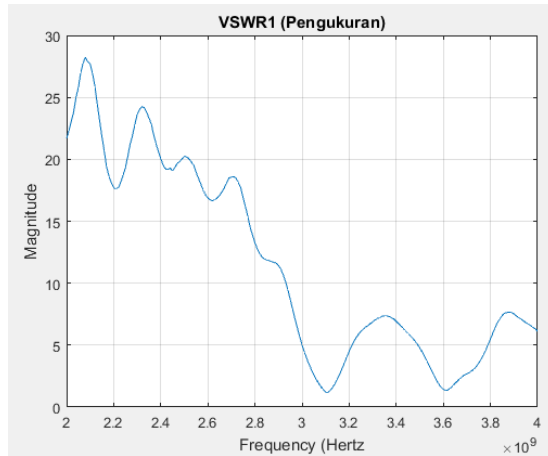
Hasil *plotting* beberapa parameter utama, yang mewakili *return loss*, *mutual coupling* dan VSWR serta impedansi *input* ditunjukkan pada Gambar 4.11 hingga Gambar 4.14. Untuk hasil *plotting* parameter kerja antenna hasil pengukuran yang lain akan ditampilkan pada Lampiran Buku Tugas Akhir ini.



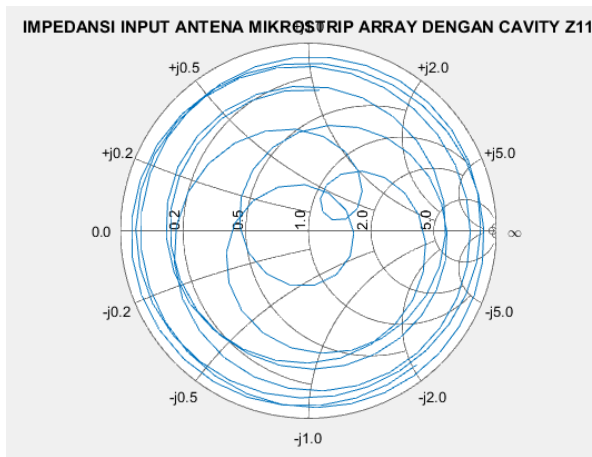
Gambar 4. 11 Contoh *Plotting Return Loss* Antena Array CBS (S11)



Gambar 4. 12 Contoh *Plotting Mutual Coupling* Antena Array CBS (S12)



Gambar 4. 13 Contoh *Plotting* VSWR Antena Array CBS (Elemen 1)



Gambar 4. 14 Contoh *Plotting* Impedansi *Input* Antena Array CBS (Elemen 1)

4.2 Analisa Parameter Kerja Antena Mikrostrip

Pada sub bab ini dilakukan analisa terhadap parameter kerja antena mikrostrip hasil pengukuran. Analisa dilakukan terhadap 3 desain realisasi antena mikrostrip yaitu Antena *Rectangular Patch*, Antena

Array, dan Antena Array CBS. Analisa dilakukan untuk mengetahui apakah parameter kerja antena mikrostrip sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dan melihat perbandingan antar simulasi dan pengukuran. Analisa juga dilakukan terhadap perbandingan antar Antena Array dan Antena Array CBS sehingga dapat diketahui pengaruh penambahan CBS terhadap isolasi antar elemen antena array yang berpengaruh terhadap penurunan *mutual coupling* serta untuk mengetahui apakah penambahan CBS juga berdampak pada parameter kerja antena yang lainnya. Dari analisa ini diharapkan dapat ditarik kesimpulan dan saran dari pengerjaan Tugas Akhir ini.

4.2.1 Analisa Parameter Kerja Antena *Rectangular Patch*

Analisa parameter kerja Antena *Rectangular Patch* dilakukan untuk mengetahui apakah parameter kerja antena sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Pada sub bab ini juga dilakukan perbandingan anatara parameter kerja antena hasil simulasi dan pengukuran. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pengukuran sesuai dengan hasil simulasi. Pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa seluruh parameter kerja Antena *Rectangular Patch* baik simulasi maupun pengukuran, sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Parameter kerja antena dapat dikatakan sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan karena mempunyai frekuensi kerja di 3 GHz, *S-Parameter* kurang dari -10 dB, VSWR kurang dari 2, serta nilai impedansi *input* yang mendekati 50 Ω .

Namun apabila dilihat, terdapat perbedaan antara parameter kerja antena hasil simulasi dan pengukuran. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada kolom ketiga dari Tabel 4.4 yang mana seluruh parameter kerja mengalami pergeseran. Salah satunya adalah adanya perbedaan frekuensi kerja sebesar 10 MHz. Pergeseran frekuensi disebabkan karena ketidaksesuaian koefisien dielektrik bahan yang digunakan saat fabrikasi antena dengan koefisien dielektrik bahan yang digunakan saat simulasi pada CST *Microwave Studio* 2014. Pergeseran frekuensi tersebut masih dapat ditolerir karena Antena *Rectangular Patch* masih mampu bekerja secara optimal pada rentang frekuensi *S-Band*.

Adanya pergeseran frekuensi juga turut menggeser parameter kerja antena yang lain yaitu *S-Parameter (return loss)* sebesar 6,095 dB, *bandwidth* sebesar 43,2 MHz, VSWR sebesar 0,2126, dan impedansi *input* sebesar 10,269 Ω . Namun seluruh pergeseran parameter kerja antena tersebut masih ditolerir karena pergeseran yang terjadi justru

semakin bagus seperti nilai *return loss* yang semakin rendah, VSWR yang semakin kecil dan mendekati nilai 1, serta impedansi input yang semakin mendekati nilai 50 Ω , tetapi mengalami penurunan *bandwidth* sebesar 43,2 MHz

Tabel 4. 4 Perbandingan Parameter Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena *Rectangular Patch*

Parameter	Simulasi	Pengukuran	Selisih
Frekuensi Kerja	3 GHz	3,01 GHz	10 MHz
<i>S-Parameter</i>	-14,965 dB	-21,06 dB	6,095 dB
<i>Bandwidth</i>	113,2 MHz atau 3,77 %	70 MHz atau 2,3 %	43,2 MHz
VSWR	1,4347	1,218	0,2126
Impedansi <i>Input</i>	35,021 Ω	45,29 Ω	10,269 Ω

4.2.2 Analisa Parameter Kerja Antena Array

Analisa parameter kerja Antena Array dilakukan untuk mengetahui apakah parameter kerja antenna sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Pada sub bab ini juga dilakukan perbandingan anatara parameter kerja antenna hasil simulasi dan pengukuran. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pengukuran sesuai dengan hasil simulasi. Pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa seluruh parameter kerja Antena Array baik simulasi maupun pengukuran, sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Parameter kerja antenna dapat dikatakan sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan karena mempunyai frekuensi kerja di 3 GHz, *S-Parameter* kurang dari -10 dB, VSWR kurang dari 2, serta nilai impedansi *input* yang mendekati 50 Ω .

Namun apabila dilihat, terdapat perbedaan antara parameter kerja antenna hasil simulasi dan pengukuran. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada kolom ketiga dari Tabel 4.5 yang mana seluruh parameter kerja mengalami pergeseran. Salah satunya adalah adanya perbedaan frekuensi kerja sebesar 10 MHz. Pergeseran frekuensi disebabkan karena ketidaksesuaian koefisien dielektrik bahan yang digunakan saat fabrikasi antenna dengan koefisien dielektrik bahan yang digunakan saat simulasi pada CST *Microwave Studio* 2014. Pergeseran frekuensi tersebut masih dapat ditolerir karena Antena Array masih mampu bekerja secara optimal pada rentang frekuensi *S-Band*.

Tabel 4. 5 Perbandingan Parameter Kerja Antena Array Hasil Simulasi dan Pengukuran

Parameter	Simulasi	Pengukuran	Selisih
Frekuensi Kerja	2,9646 GHz	3,03 GHz	65,4 MHz
S11	-14,19 dB	-17,28 dB	3,09 dB
S22	-13,98 dB	-19,89 dB	5,91 dB
S33	-14,17 dB	-18,9 dB	4,73 dB
S12	-22,45 dB	-21,28 dB	1,17 dB
S21	-22,45 dB	-21,21 dB	1,24 dB
S23	-22,45 dB	-21,01 dB	1,44 dB
S32	-22,45 dB	-21,01 dB	1,44 dB
S13	-33,52 dB	-33,7 dB	0,18 dB
S31	-33,52 dB	-33,8 dB	0,28 dB
<i>Bandwidth</i>	106,4 MHz atau 3,54 %	60 MHz atau 1,97 %	46,4 MHz
VSWR1	1,48	1,304	0,176
VSWR2	1,49	1,289	0,201
VSWR3	1,48	1,236	0,244
Impedansi <i>Input</i>	34,12 Ω	44,22 Ω	10,1 Ω

Adanya pergeseran frekuensi juga turut menggeser parameter kerja antena yang lain yaitu *S-Parameter (return loss)* rata-rata sebesar 2,164 dB, *bandwidth* sebesar 46,4 MHz, VSWR rata-rata sebesar 0,207, dan impedansi *input* sebesar 10,1 Ω . Namun seluruh pergeseran parameter kerja antena tersebut masih ditolerir karena pergeseran yang terjadi justru semakin bagus seperti nilai *return loss* yang semakin rendah, VSWR yang semakin kecil dan mendekati nilai 1, serta impedansi input yang semakin mendekati nilai 50 Ω , tetapi mengalami penurunan *bandwidth* sebesar 46,4 MHz.

4.2.3 Analisa Parameter Kerja Antena Array CBS

Analisa parameter kerja Antena Array dilakukan untuk mengetahui apakah parameter kerja antena sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Pada sub bab ini juga dilakukan perbandingan anatara parameter kerja antena hasil simulasi dan pengukuran. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pengukuran sesuai dengan hasil simulasi. Pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa seluruh parameter kerja Antena Array baik simulasi maupun

pengukuran, sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Parameter kerja antenna dapat dikatakan sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan karena mempunyai frekuensi kerja di 3 GHz, *S-Parameter* kurang dari -10 dB, VSWR kurang dari 2, serta nilai impedansi *input* yang mendekati 50 Ω .

Namun apabila dilihat, terdapat perbedaan antara parameter kerja antenna hasil simulasi dan pengukuran. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada kolom ketiga dari Tabel 4.6 yang mana seluruh parameter kerja mengalami pergeseran. Salah satunya adalah adanya perbedaan frekuensi kerja sebesar 10 MHz. Pergeseran frekuensi disebabkan karena ketidaksesuaian koefisien dielektrik bahan yang digunakan saat fabrikasi antenna dengan koefisien dielektrik bahan yang digunakan saat simulasi pada CST *Microwave Studio* 2014. Pergeseran frekuensi tersebut masih dapat ditolerir karena Antena Array masih mampu bekerja secara optimal pada rentang frekuensi *S-Band*.

Tabel 4. 6 Perbandingan Parameter Kerja Antena Array CBS Hasil Simulasi dan Pengukuran

Parameter	Simulasi	Pengukuran	Selisih
Frekuensi Kerja	3,0135 GHz	3,11 GHz	96,5 MHz
S11	-17,14 dB	-17,82 dB	0,68 dB
S22	-17,28 dB	-19,55 dB	2,27 dB
S33	-16,68 dB	-20,7 dB	4,02 dB
S12	-24,49 dB	23,59 dB	0,131 dB
S21	-24,50 dB	-23,66 dB	0,84 dB
S23	-24,50 dB	-23,58 dB	0,92 dB
S32	-24,50 dB	-23,54 dB	0,96 dB
S13	-33,65 dB	-36,03 dB	2,38 dB
S31	-33,65 dB	-35,83 dB	2,18 dB
<i>Bandwidth</i>	68,1 MHz atau 2,27 %	50 MHz atau 1,06 %	18,1 MHz
VSWR1	1,32	1,195	0,63
VSWR2	1,31	1,243	0,067
VSWR3	1,33	1,191	0,139
Impedansi <i>Input</i>	59,56 Ω	48,57 Ω	10,99 Ω

Adanya pergeseran frekuensi juga turut menggeser parameter kerja antenna yang lain yaitu *S-Parameter (return loss)* rata-rata sebesar

1,597 dB, *bandwidth* sebesar 18,1 MHz, VSWR rata-rata sebesar 0,278, dan impedansi *input* sebesar 10,99 Ω . Namun seluruh pergeseran parameter kerja antenna tersebut masih ditolerir karena pergeseran yang terjadi justru semakin bagus seperti nilai *return loss* yang semakin rendah, VSWR yang semakin kecil dan mendekati nilai 1, serta impedansi input yang semakin mendekati nilai 50 Ω , tetapi mengalami penurunan *bandwidth* sebesar 19,1 MHz.

4.2.4 Perbandingan Parameter Kerja Antena Array dan Antena Array CBS Hasil Pengukuran

Perbandingan parameter kerja Antena Array dengan Antena Array CBS dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkan oleh penambahan CBS terhadap parameter kerja antenna, khususnya terhadap pengurangan *mutual coupling*. Perbandingan parameter kerja parameter kerja antenna hasil pengukuran yang dapat dilihat pada Tabel 4.7.

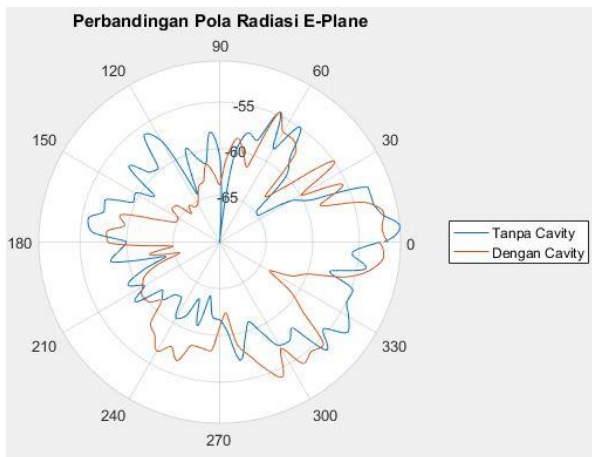
Tabel 4. 7 Perbandingan Parameter Kerja Antena Array dan Antena Array CBS Hasil Pengukuran

Parameter	Antena Array	Antena Array CBS	Selisih
Frekuensi Kerja	3,03 GHz	3,11 GHz	80 MHz
S11	-17,28 dB	-17,82 dB	0,54 dB
S22	-19,89 dB	-19,55 dB	0,34 dB
S33	-18,9 dB	-20,7 dB	1,8 dB
S12	-21,28 dB	23,59 dB	2,31 dB
S21	-21,21 dB	-23,66 dB	2,45 dB
S23	-21,01 dB	-23,58 dB	2,57 dB
S32	-21,01 dB	-23,54 dB	2,53 dB
S13	-33,7 dB	-36,03 dB	2,33 dB
S31	-33,8 dB	-35,83 dB	2,03 dB
<i>Bandwidth</i>	60 MHz atau 1,97 %	50 MHz atau 1,06 %	10 MHz
VSWR1	1,304	1,195	0,109
VSWR2	1,289	1,243	0,046
VSWR3	1,236	1,191	0,045
Impedansi <i>Input</i>	44,22 Ω	48,57 Ω	4,35 Ω

Dapat Dilihat pada Tabel 4.6 bahwa terdapat perbedaan frekuensi kerja sebesar 80 Mhz, dimana Antena Array bekerja maksimal pada frekuensi 3,03 GHz, sedangkan Antena Array CBS bekerja optimal pada frekuensi 3,11 GHz. Perbedaan frekuensi kerja masih dapat ditolerir karena nilainya tidak signifikan dan keduanya masih memenuhi spesifikasi yang diinginkan dimana diharapkan antena mikrostrip mampu bekerja secara optimal pada rentang frekuensi *S-Band*.

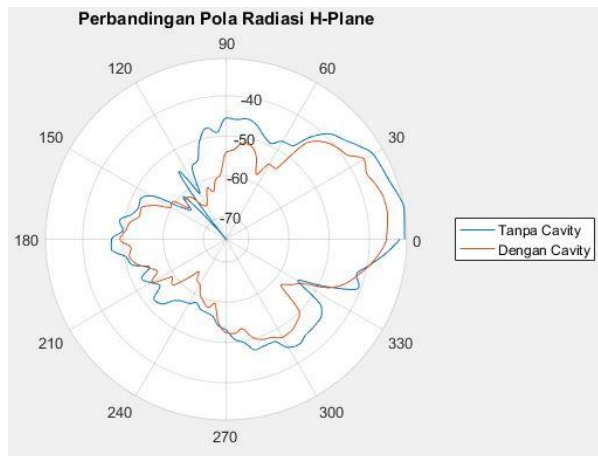
Apabila dilihat pada *S-Parameter*, khususnya untuk nilai *return loss*, yang direpresentasikan oleh nilai *S11* untuk elemen 1, *S22* untuk elemen 2, dan *S33* untuk elemen 3, tidak terjadi perbedaan secara signifikan, dimana nilai perbedaan rata-ratanya relative kecil yaitu 0,89 dB. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan CBS pada Antena Array tidak merubah parameter *return loss*.

Jika ditinjau dari parameter *mutual coupling* yang direpresentasikan oleh nilai *S12*, *S21*, *S23*, dan *S32*, terdapat penurunan nilai *mutual coupling* yang cukup signifikan yaitu rata-rata sebesar 2,465 Db. Sedangkan pada nilai *S13* dan *S31* juga mengalami penurunan nilai *mutual coupling* yang relative besar yaitu sebesar 2,33 dB dan 2,03 dB. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan CBS pada Antena Array mampu meningkatkan isolasi antar elemen sehingga dapat mengurangi nilai *mutual coupling* yang relatif besar.



Gambar 4. 15 Perbandingan Pola Radiasi *E Plane* Antena Array dan Antena Array CBS Hasil Pengukuran

Untuk parameter *bandwidth*, terdapat penurunan nilai sebesar 10 MHz. Sedangkan untuk parameter VSWR terjadi penurunan nilai rata-rata sebesar 0,067. Perubahan yang terjadi justru semakin bagus karena nilai VSWR semakin mendekati nilai 1. Untuk parameter impedansi *input*, terjadi peningkatan sebesar 4,35 Ω . Peningkatan impedansi yang terjadi justru semakin bagus karena menghasilkan nilai impedansi yang semakin mendekati 50 Ω . Jika dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16, tidak terdapat perbedaan pola radiasi yang berarti antara pola radiasi Antena Array dengan pola radiasi Antena Array CBS. Plot pola radiasi Antena Array dan Antena Array CBS baik *E-Plane* dan *H-Plane* ditampilkan pada Lampiran Buku Tugas Akhir ini.



Gambar 4. 16 Perbandingan Pola Radiasi *H Plane* Antena Array dan Antena Array CBS Hasil Pengukuran

Dari keseluruhan analisa terhadap parameter kerja antenna, dapat ditarik sebuah kesimpulan umum bahwa penambahan CBS pada Antena Array mampu mengurangi *mutual coupling* rata-rata sebesar 2,465 dB dan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap parameter kerja antenna yang lain kecuali pengurangan *bandwidth* sebesar 10 MHz dan peningkatan impedansi *input* sebesar 4,35 Ω .

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Penulisan Tugas Akhir ini menghasilkan beberapa kesimpulan dan saran yang diharapkan dapat berguna untuk penelitian selanjutnya dengan topik serupa. Kekurang yang didapat dari hasil akhir perancangan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya dan telah dirangkum dalam subbab 5.2 sebagai saran.

5.1 Kesimpulan

Bedasarkan hasil yang didapatkan dalam perancangan Antena Array CBS, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Kesimpulan

Dari seluruh pembahasan tugas akhir dengan judul *djnfdsdbf*, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil fabrikasi antena mengalami pergeseran frekuensi kerja jika dibandingkan dengan rancangan simulasi, dikarenakan perbedaan koefisien dielektrik bahan.
2. Adanya pergeseran frekuensi kerja berdampak pada perubahan seluruh parameter antena yang lain, seperti *S-Parameter*, *bandwidth*, *VSWR*, dan pola radiasi.
3. Hasil pengukuran parameter Antena *Rectangular Patch* hasil fabrikasi sudah memenuhi spesifikasi yang ditentukan, kecuali lebar *bandwidth* mengalami penyempitan sebesar 43,2 MHz dari 113,2 MHz menjadi 70 MHz.
4. Hasil pengukuran parameter Antena Array hasil fabrikasi sudah memenuhi spesifikasi yang ditentukan, kecuali lebar *bandwidth* mengalami penyempitan sebesar 46,4 MHz dari 106,4 MHz menjadi 60 MHz.
5. Hasil pengukuran parameter Antena Array CBS hasil fabrikasi sudah memenuhi spesifikasi yang ditentukan, kecuali lebar *bandwidth* mengalami penyempitan sebesar 18,1 MHz dari 68,1 MHz menjadi 50 MHz.
6. Penambahan CBS pada Antena Array mampu mengurangi *mutual coupling* rata-rata sebesar 2,465 dB dan tidak mempengaruhi parameter kerja antena mikrostrip yang lainnya kecuali penurunan *bandwith* yang relatif kecil.

5.2 Saran

Untuk meningkatkan performa dari Antena Array CBS, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya. Di antaranya yaitu:

1. Konstanta dielektrik dari *substrate* antena yang difabriikasi harus memiliki konstanta dielektrik yang sama dengan yang disimulasi.
2. Untuk mendapatkan data yang tepat, peralatan pengukuran harus terkalibrasi dan presisi.
3. Pemilihan frekuensi kerja yang berbeda untuk mengetahui apakah CBS dengan dimensi yang sama tetap dapat mengurangi *mutual coupling* atau tidak.
4. Perancangan CBS untuk penurunan *mutual coupling* yang memiliki *bandwidth* yang lebih lebar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dahlan E.A., "Perencanaan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Arrat 2x2 pada Frekuensi 1575 MHz", Jurnal EECCIS Vol. III No. 1 Juni 2009.
- [2] Dr. Saban A., "Microstrip Antenna Arrays", Ort Braude College, Karmiel, Israel.
- [3] Cahyu R.D., Cristyono Y., Santoso I., "Perancangan dan Analisis Antena Mikrostrip Array dengan Frekuensi 850 MHz untuk Aplikasi Praktikum Antena". Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
- [4] Hameed A.G., Abdullah A.K., Sabbagh H.M., Bashir H.K., "Mutual Coupling Reduction of a (2x1) MIMO Antena System Using Parasitic Element Structure for WLAN Applications", Departemen of Electrical Engineering, College of Engineering, University of Basrah, Basra, Iraq.
- [5] Stutzman, W.L. and Thiele, A.G., "Antenna Theory and Design"3rd ed., New York, 1998.
- [6] Bretcho P., Ludwig, R., "RF Circuit Design Theory and Applications", Prentice Hall, New Jersey, Ch. 2, 2000.
- [7] Wibowo, S.H., "Desain Antena Mikrostrip Patch Segitiga Fractal Planar pada Pita L untuk Sistem Komunikasi Satelit", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Ch. 2, 2015.
- [8] Balanis C. A., "Antenna Theory Analysis and Design"4th ed, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2016
- [9] Garg, R., Bharitua P., Bahl I., Ittipiboon, A., "Microstrip Antenna Design Handbook", Artech House, Inc., Massachusetts, Ch. 1, 2001.
- [10] Khana, R., Kaur J., Ahuja N., "Design of Single Band Rectangular Patch Antenna for WLAN Application", Proc. of International Conference on Recent Advance and Future Trends in Information Technology, 2012.
- [11] Ioan E. Lager, Massimiliano Simeone, "Experimental Investigation of the Mutual Coupling Reduction by Means of Cavity Enclosure of Patch Antennas", International Research Center for Telecommunication and Radar, Delft University of Technology, 2006.

- [12] Asanee Sunties, Arash Khajooeizadeh, Remsh Abhari, “Using Via Fences for Crosstalk Reduction in PCB Circuits”, McGill University, Canada, 2006

LAMPIRAN

A. PROPOSAL TUGAS AKHIR

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro - ITS

TE 141599 TUGAS AKHIR - 4 SKS

Nama Mahasiswa : Ike Agustine Rintami
Nomor Pokok : 2215 105 084
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap Th 2016/2017
Dosen Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D
2. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
Judul Tugas Akhir : Evaluasi *Mutual Coupling* pada Antena Array Linear *Rectangular Patch* dengan *Cavity Backed Slot* pada Frekuensi *S-Band*
(*Mutual Coupling Evaluation of Linear Array with Rectangular Patch Elements and Cavity Backed Slot at S-Band Frequency*)

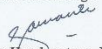
31 JAN 2017

Uraian Tugas Akhir :

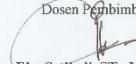
Penggunaan *Radio Detection and Ranging* (Radar) yang luas seperti Radar cuaca, *tracking, acquisition and search*, dan tingginya kebutuhan Indonesia terhadap Radar untuk melakukan pengamanan terhadap wilayah Negara Indonesia mendorong Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) untuk melakukan penelitian mengenai Radar *Surveillance*. Dalam melakukan penelitian mengenai Radar *Surveillance* dibutuhkan antena sebagai perangkat yang dapat mengirim dan menerima sinyal. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka dirancang antena array dengan pengaruh *Mutual Coupling* yang rendah.

Perancangan dilakukan dengan menggunakan antena mikrostrip karena tergolong murah, dan mudah difabrikasi, serta kecil dan ringan sehingga sesuai untuk aplikasi Radar. Perancangan antena menggunakan elemen *rectangular patch* dengan *Cavity Backed Slot* yang berfungsi untuk mengurangi *Mutual Coupling*, serta metode pencatutan *probe feeding*. Perancangan antena dilakukan dalam dua tahap yaitu simulasi dan fabrikasi. Pada tahap simulasi dihasilkan 4 desain antena yaitu desain antena mikrostrip *rectangular patch* tanpa dan dengan *Cavity Backed Slot* elemen tunggal, kemudian hasil dari kedua perancangan tersebut di-array-kan. Hasil dari dua simulasi desain antena array tanpa dan dengan *Cavity Backed Slot* difabrikasi lalu dibandingkan dan dievaluasi *Mutual Coupling*-nya. Penelitian ini menjadi dasar untuk penelitian mengenai Antena *Phased Array Non-Uniform* yang akan digunakan untuk antena Radar *Surveillance* pada frekuensi *S-Band*.

Dosen Pembimbing 1



Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D
NIP. 197011111993031002

Dosen Pembimbing 2


Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
NIP. 197210012003121002

Mengetahui,
Kepala Program Studi S1




Dede C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 1973111192000031001

Menyetujui,
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi


Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M.Eng., Ph.D
NIP. 197011111993031002

B. PENGUKURAN POLA RADIASI



C. TABEL PENGUKURAN POLA RADIAISI

1. Pola Radiasi E Plane Antena Array

Sudut ▼	Kuat Medan ▼		
0	-52.4	95	-58.18
5	-50.6	100	-61.45
10	-52.4	105	-60.72
15	-53.04	110	-59.31
20	-53.04	115	-64.36
25	-59.39	120	-57.45
30	-61.13	125	-55.91
35	-65	130	-59.72
40	-64.84	135	-59.39
45	-59.81	140	-57.26
50	-58.28	145	-61.45
55	-54.95	150	-59.54
60	-58.47	155	-59.8
65	-54.69	160	-56.91
70	-58.42	165	-57.16
75	-57.89	170	-55.66
80	-60.12	175	-56.11
85	-69.97	180	-59.95
90	-60.74	185	-59.17
		190	-58.13

195	-64
200	-61.29
205	-59.13
210	-60.66
215	-58.87
220	-61.99
225	-61.32
230	-62.64
235	-62.8
240	-60.59
245	-61.2
250	-63.54
255	-60.71
260	-64.15
265	-61.85
270	-61.64
275	-60.34
280	-57.16
285	-59.41
290	-60.9

295	-59.27
300	-57.22
305	-57.02
310	-57.98
315	-53.7
320	-55.49
325	-53.23
330	-54.03
335	-54.91
340	-54.79
345	-57.79
350	-54.04
355	-55.74
360	-52.79

2. Pola Radiasi H Plane Antena Array

Sudut ▼	Kuat Medan ▼
0	-31.28
5	-31.2
10	-30.73
15	-31.6
20	-32.6
25	-33.05
30	-33.42
35	-35.25
40	-37.28
45	-38.73
50	-42.28
55	-47.26
60	-47.57
65	-49.37
70	-48.3
75	-46.28
80	-45.28
85	-45.77
90	-45.5

95	-49.03
100	-47.53
105	-50.23
110	-54.9
115	-55.63
120	-62.64
125	-55.03
130	-75.65
135	-60.53
140	-64.28
145	-61.65
150	-54.03
155	-52.16
160	-52.48
165	-51.47
170	-48.77
175	-49.9
180	-47.16
185	-47.02
190	-50.33

195	-51.34
200	-55.45
205	-52.48
210	-54.09
215	-55.61
220	-52.23
225	-52.94
230	-55.77
235	-56.84
240	-57.22
245	-58.26
250	-57.1
255	-56.8
260	-56.23
265	-54.03
270	-53.11
275	-50.65
280	-49.55
285	-47.18
290	-47.58

295	-47.58
300	-44.61
305	-43.84
310	-44.75
315	-44.87
320	-45.04
325	-46.86
330	-55.1
335	-47.62
340	-40.54
345	-42.09
350	-39.23
355	-35.77
360	-32.46

3. Pola Radiasi E Plane Antena Array CBS

Sudut ▼	Kuat Medan ▼		
0	-51.98	95	-62.6
5	-52.52	100	-61.55
10	-52.13	105	-63.28
15	-53.69	110	-63.52
20	-58.51	115	-64.49
25	-55.42	120	-65.3
30	-59.89	125	-65.38
35	-54.91	130	-64.84
40	-60.63	135	-65.69
45	-63.13	140	-63.88
50	-57.24	145	-63.74
55	-56.45	150	-64.84
60	-56.4	155	-64.86
65	-54.61	160	-63.02
70	-61.44	165	-58.9
75	-60.19	170	-59.64
80	-58.69	175	-57.8
85	-60.79	180	-57.99
90	-63.84	185	-64.96
		190	-62.32

195	-65.56
200	-62.82
205	-61.03
210	-60.45
215	-59.84
220	-60.05
225	-61.16
230	-58.44
235	-57.84
240	-56.52
245	-57.65
250	-56.52
255	-58.56
260	-58.49
265	-58.28
270	-60.88
275	-62.38
280	-58.74
285	-57.33
290	-55.55

295	-54.07
300	-56.86
305	-54.16
310	-54.7
315	-54.3
320	-58.3
325	-60.65
330	-63.84
335	-61.42
340	-59.98
345	-55.69
350	-53.41
355	-52.35
360	-52.89

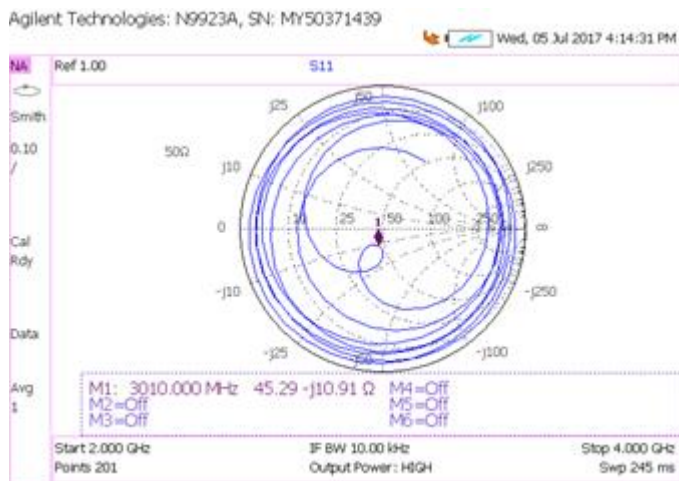
4. Pola Radiasi H Plane Antena Array CBS

Sudut ▼	Kuat Medan ▼		
0	-35.83	95	-59.54
5	-35.4	100	-60.58
10	-35	105	-63.48
15	-35.19	110	-62.05
20	-36.04	115	-64.48
25	-37.06	120	-66.03
30	-36.04	125	-65.34
35	-39.05	130	-61.97
40	-39.92	135	-61.34
45	-41.43	140	-63.55
50	-44.33	145	-59.3
55	-54.25	150	-59.68
60	-54.14	155	-55.76
65	-57.88	160	-53.15
70	-53.71	165	-53.35
75	-51.69	170	-51.39
80	-51.3	175	-50.6
85	-53.3	180	-49.23
90	-54.07	185	-51.94
		190	-51.23

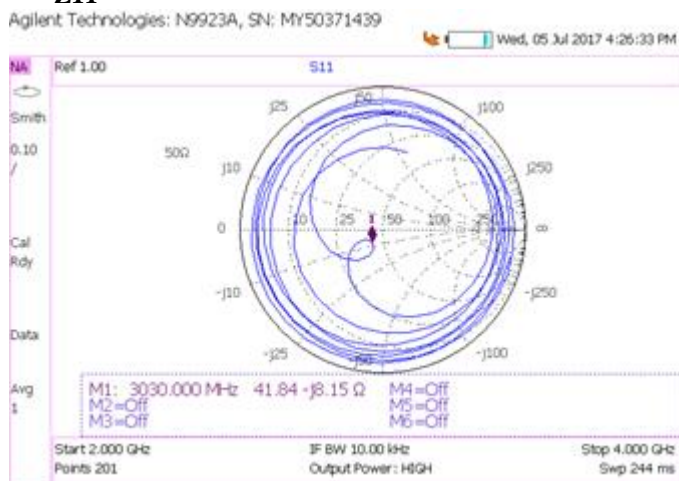
195	-52.4	295	-48.74
200	-55.05	300	-47.55
205	-56.8	305	-47.69
210	-54.36	310	-48.52
215	-59.33	315	-49.76
220	-58.11	320	-57.88
225	-61.64	325	-55.96
230	-65.15	330	-53.67
235	-63.07	335	-47.16
240	-62.7	340	-43.83
245	-60.41	345	-41.63
250	-59.23	350	-39.3
255	-58.1	355	-37.28
260	-59.51	360	-35.63
265	-54.55		
270	-52.48		
275	-52.13		
280	-53.08		
285	-50.4		
290	-49.16		

D. HASIL PENGUKURAN IMPEDANSI INPUT

- Impedansi Input Antena *Rectangular Patch*



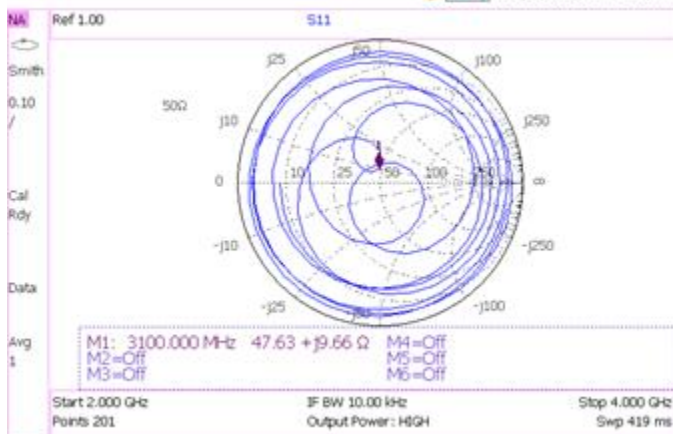
- Impedansi Input Antena Array
Z11



- **Impedansi Input Antena Array CBS**
Z11

Agilent Technologies: N9923A, SN: MY50371439

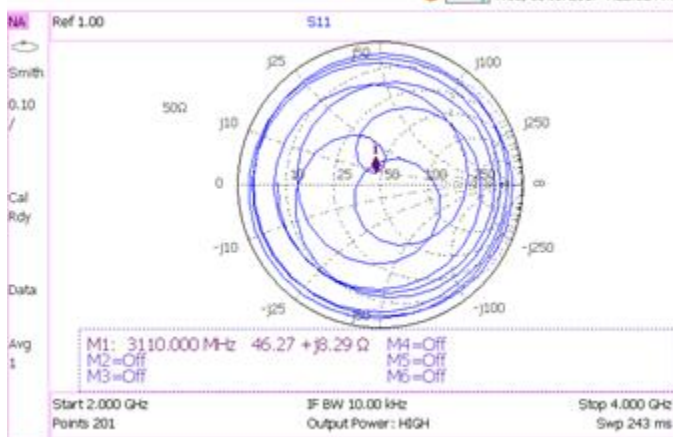
Wed, 05 Jul 2017 4:24:05 PM



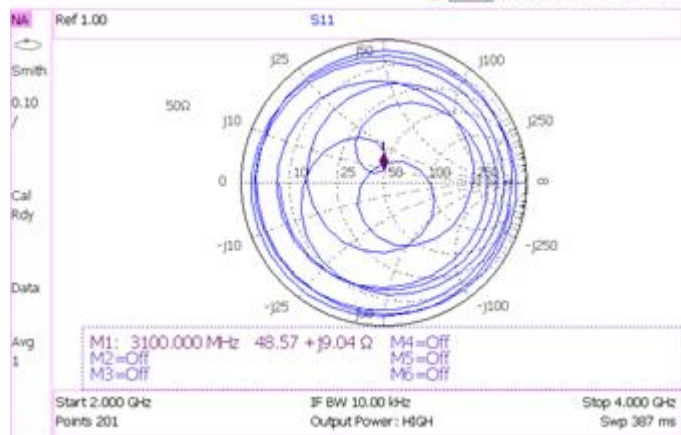
Z22

Agilent Technologies: N9923A, SN: MY50371439

Wed, 05 Jul 2017 4:22:02 PM

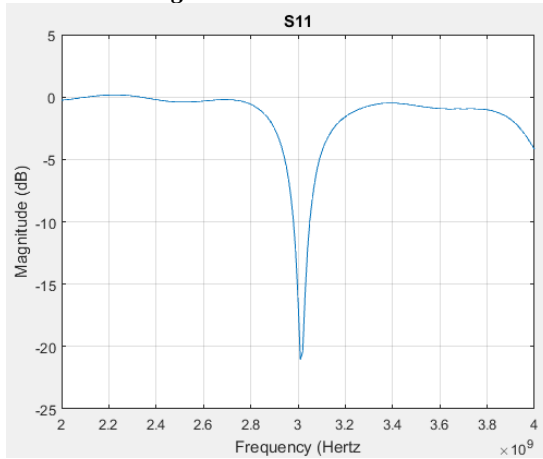


Z33

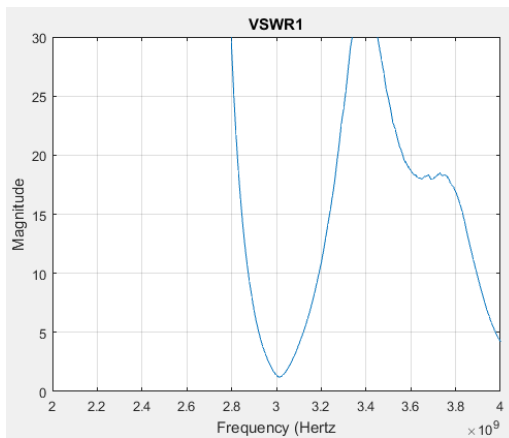


E. PLOTTING PADA MATLAB DARI PARAMETER ANTENA HASIL PENGUKURAN

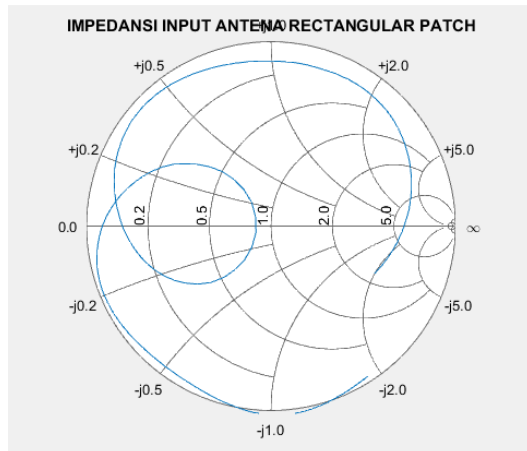
- **Antena *Rectangular Patch***



Hasil Pengukuran *S-Paramater* Antena *Rectangular Patch*

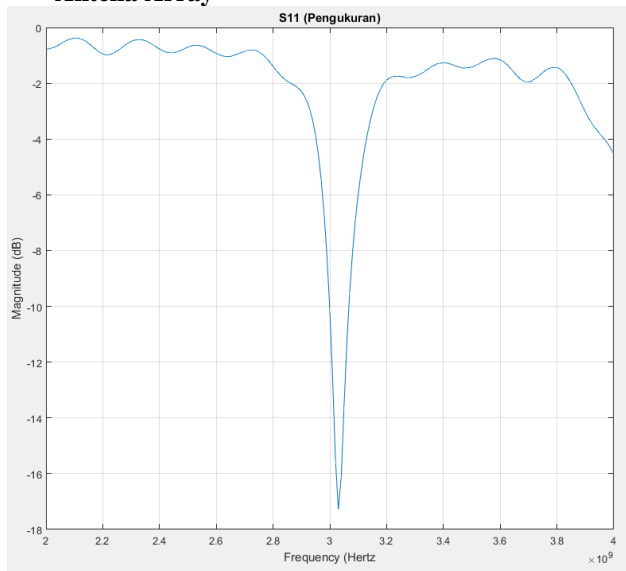


Hasil Pengukuran VSWR Antena *Rectangular Patch*

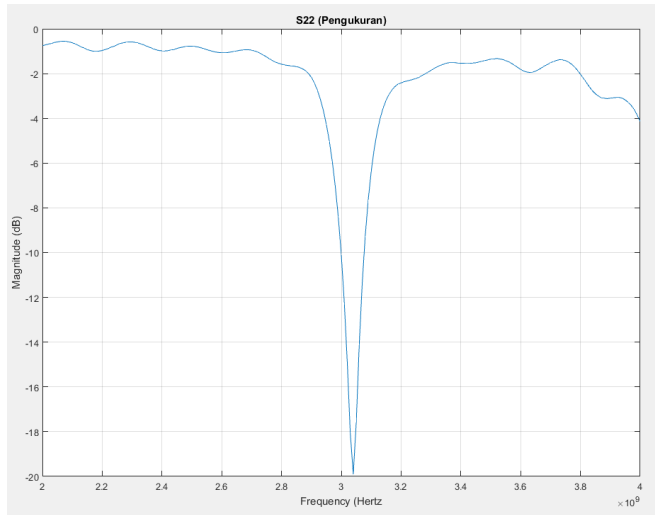


Hasil Pengukuran Impedansi *Input* Antena *Rectagular Patch*

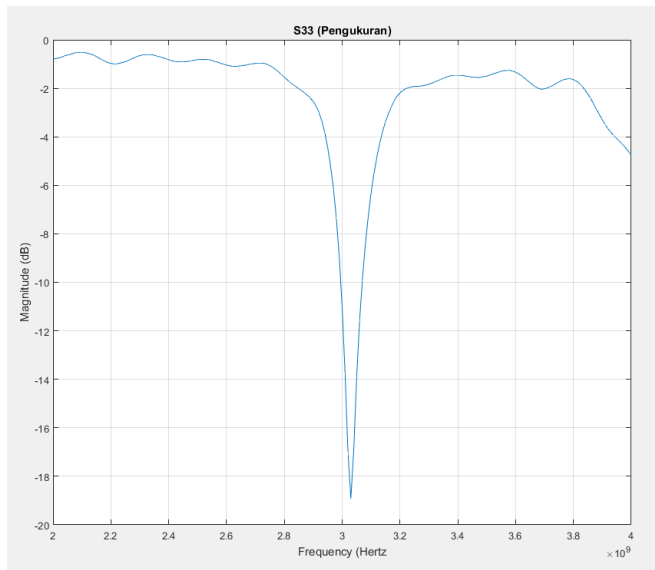
- **Antena Array**



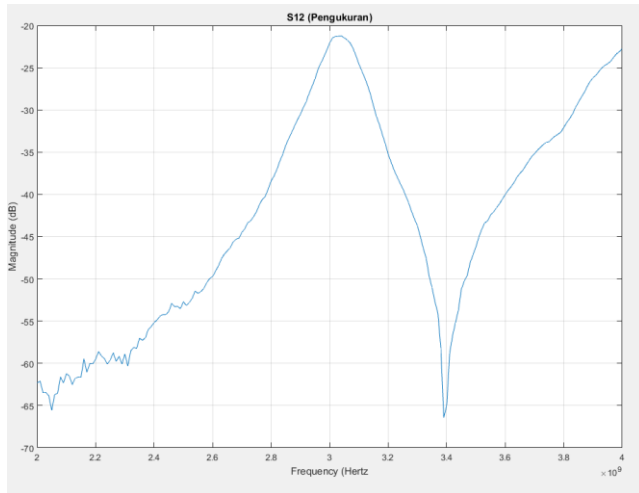
Hasil Pengukuran S_{11} Antena Array



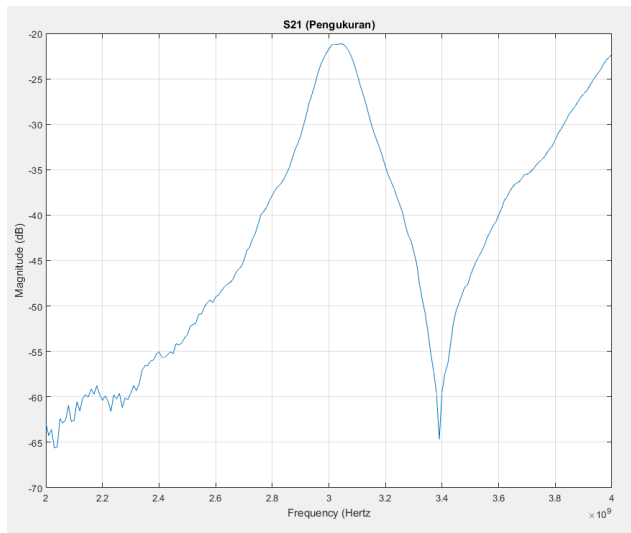
Hasil Pengukuran S22 Antena Array



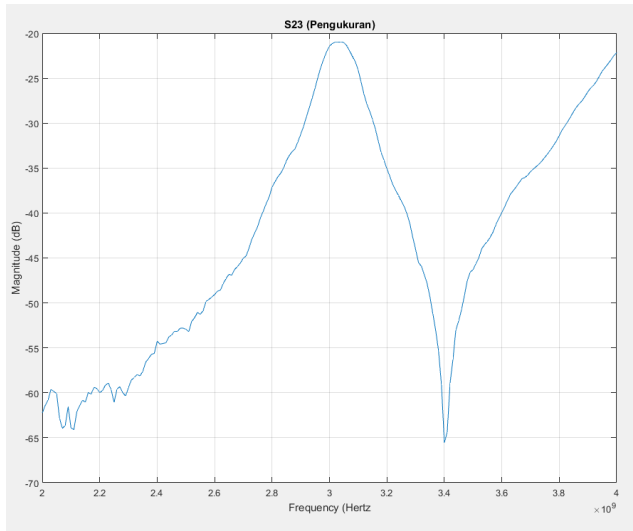
Hasil Pengukuran S33 Antena Array



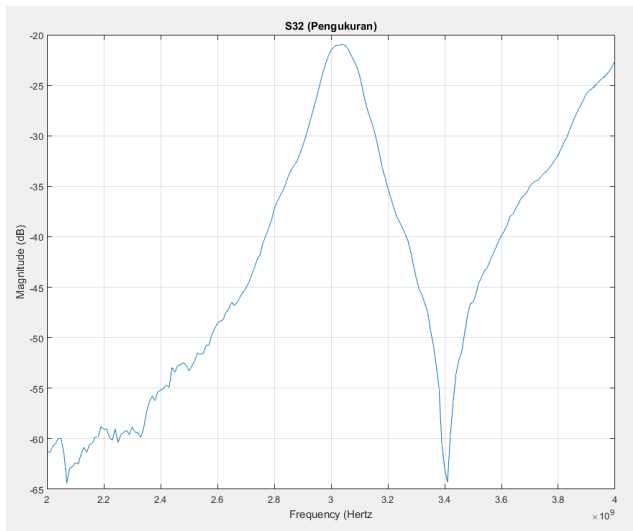
Hasil Pengukuran S12 Antena Array



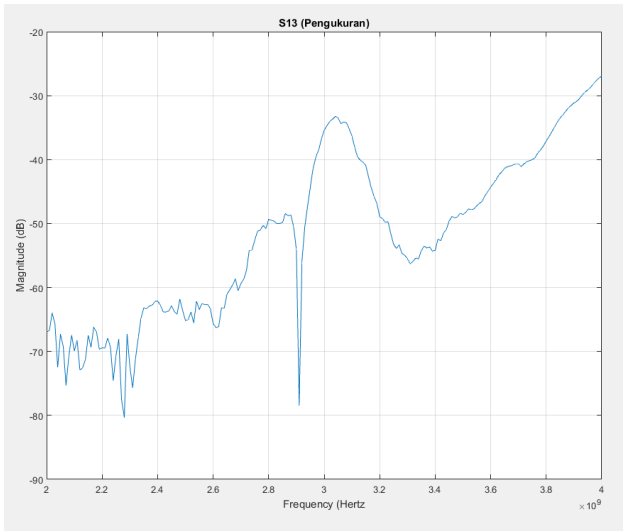
Hasil Pengukuran S21 Antena Array



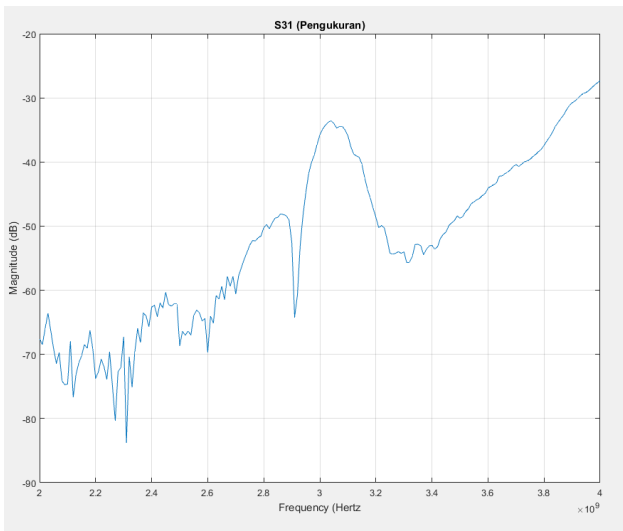
Hasil Pengukuran S23 Antena Array



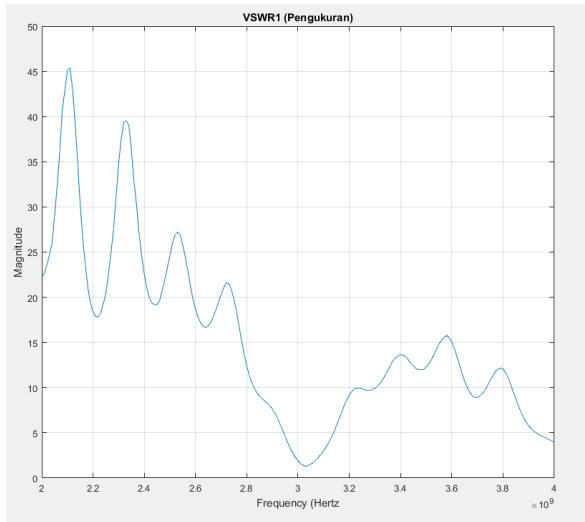
Hasil Pengukuran S32 Antena Array



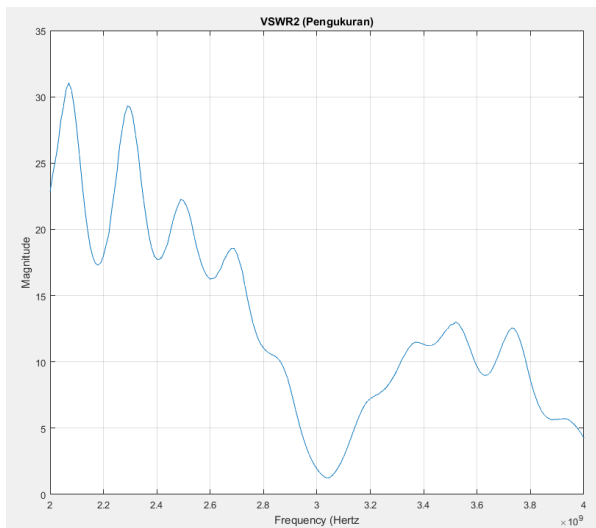
Hasil Pengukuran S13 Antena Array



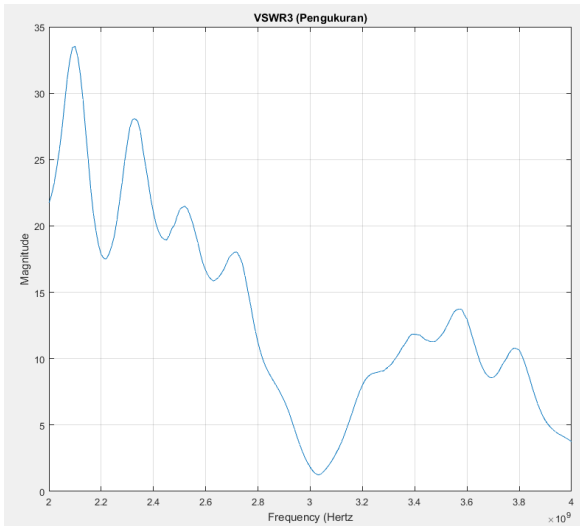
Hasil Pengukuran S31 Antena Array



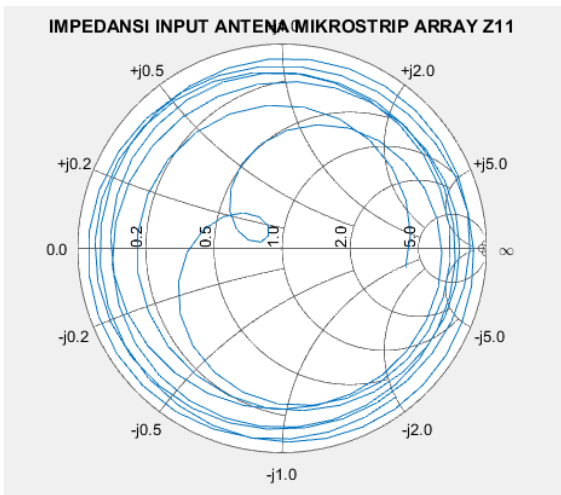
Hasil Pengukuran VSWR Elemen 1 Antena Array



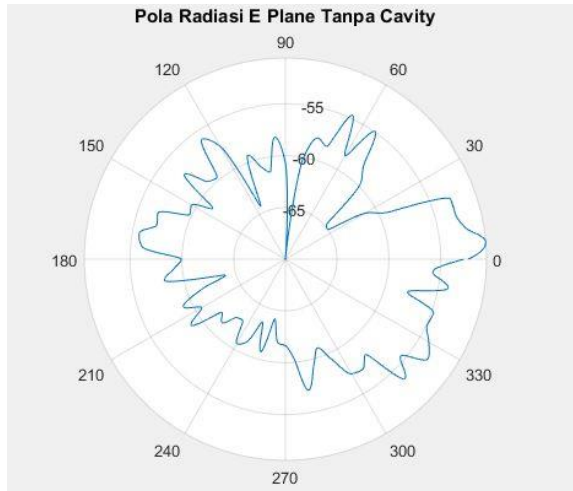
Hasil Pengukuran VSWR Elemen 2 Antena Array



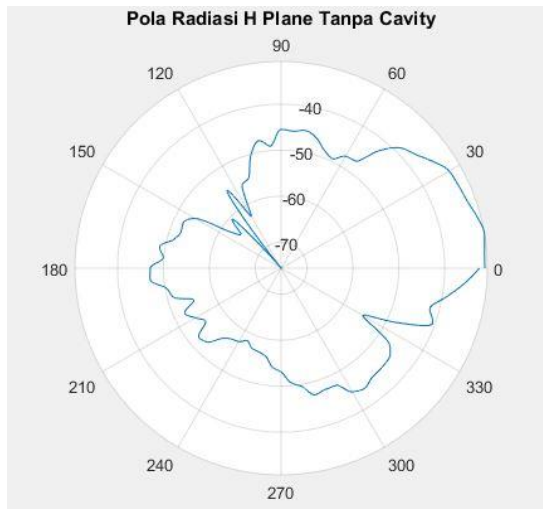
Hasil Pengukuran VSWR Elemen 3 Antena Array



Hasil Pengukuran Impedansi *Input* Antena Array

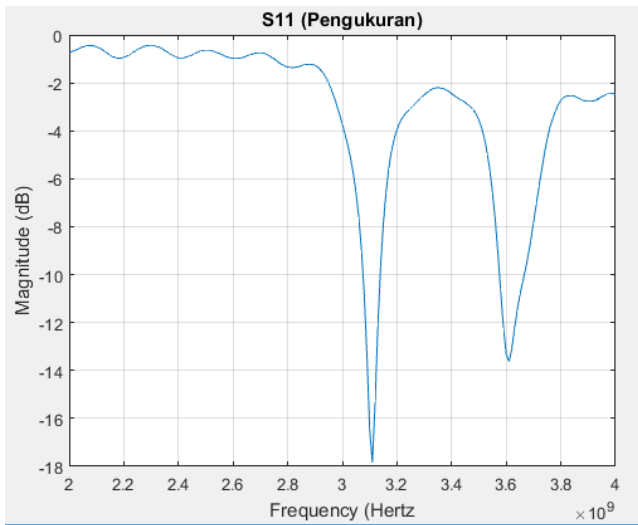


Hasil Pengukuran Pola Radiasi E *Plane* Antena Array

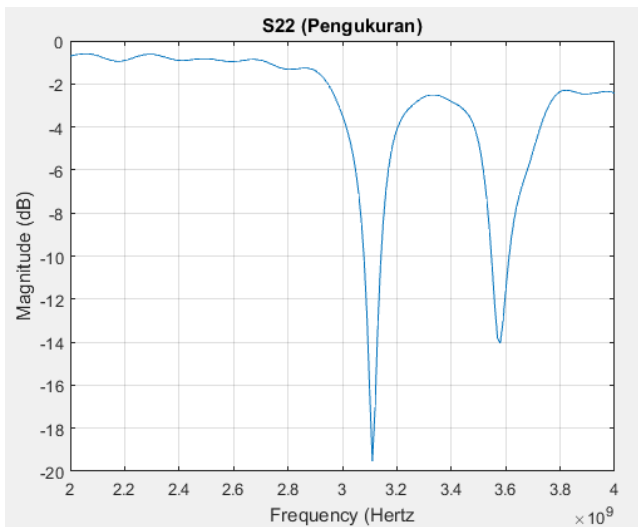


Hasil Pengukuran Pola Radiasi H *Plane* Antena Array

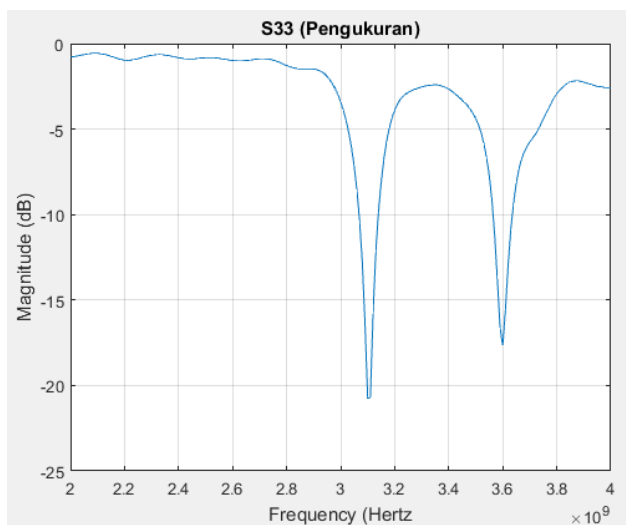
- **Antena Array CBS**



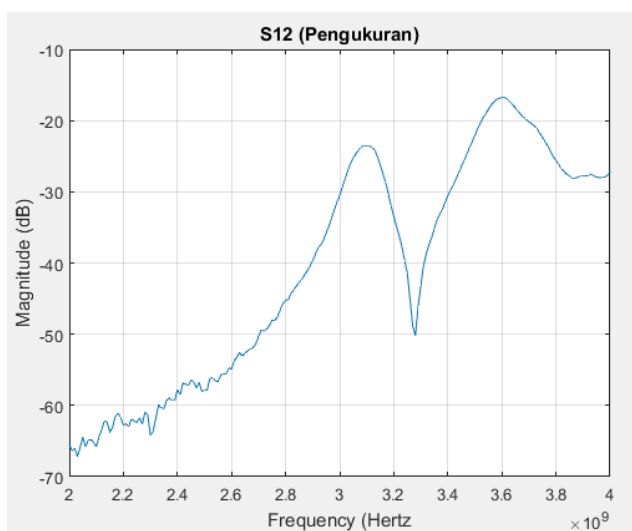
Hasil Pengukuran S11 Antena Array CBS



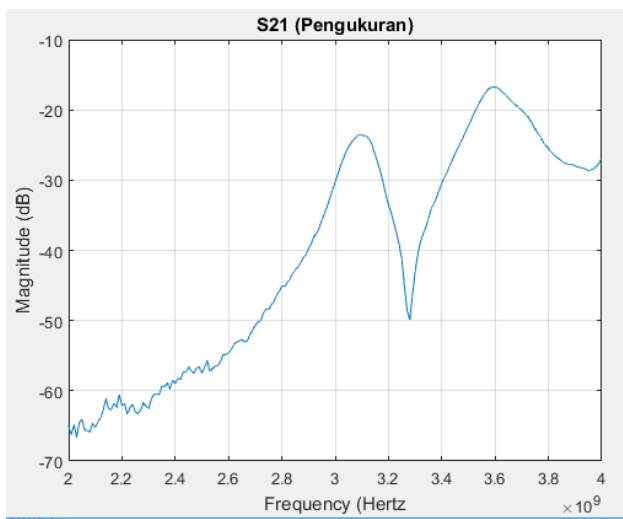
Hasil Pengukuran S22 Antena Array CBS



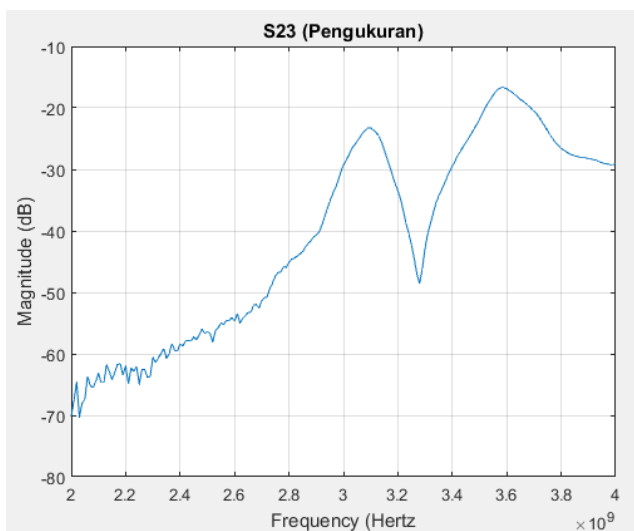
Hasil Pengukuran S33 Antena Array CBS



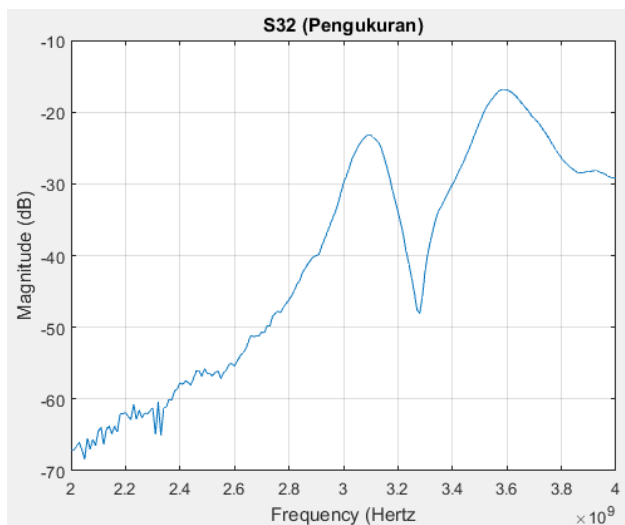
Hasil Pengukuran S12 Antena Array CBS



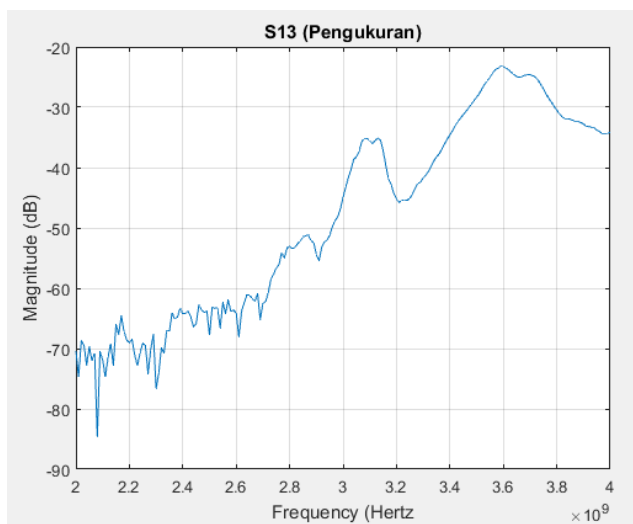
Hasil Pengukuran S21 Antena Array CBS



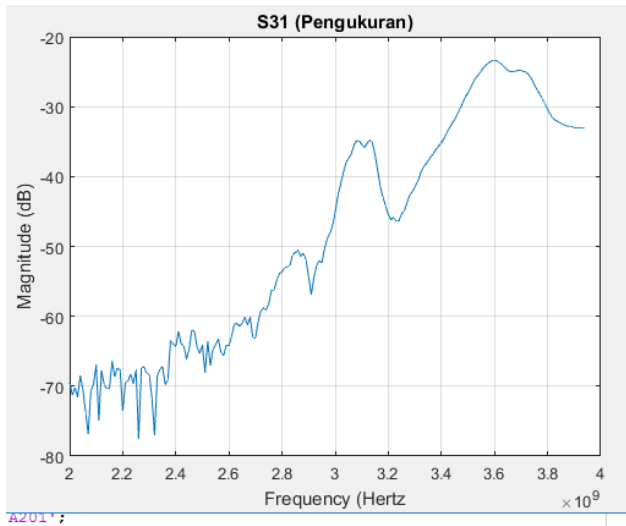
Hasil Pengukuran S23 Antena Array CBS



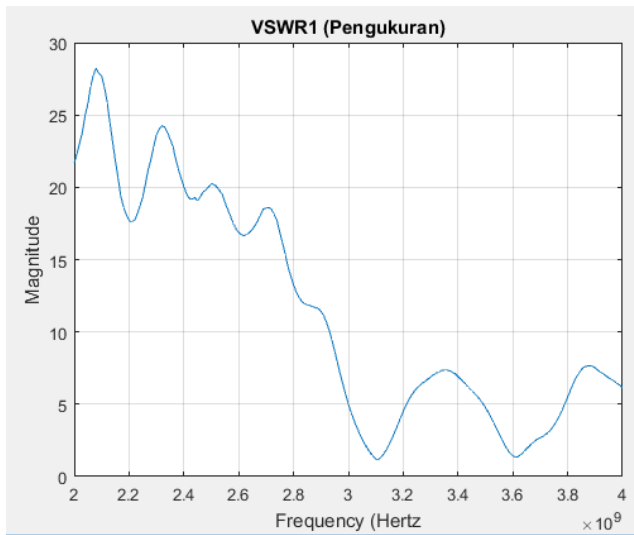
Hasil Pengukuran S32 Antena Array CBS



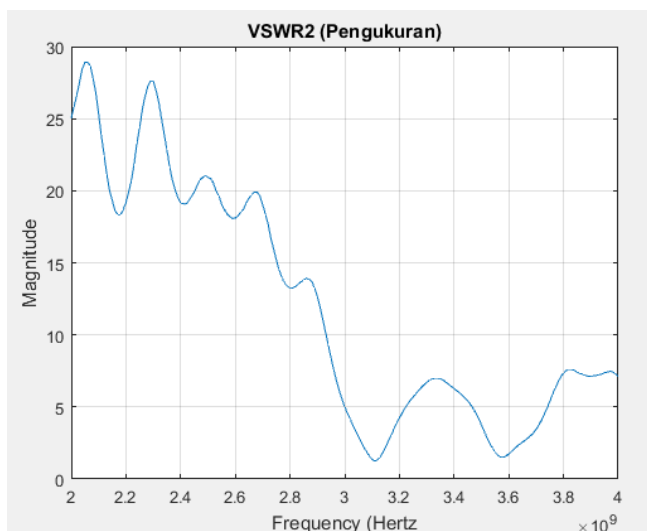
Hasil Pengukuran S13 Antena Array CBS



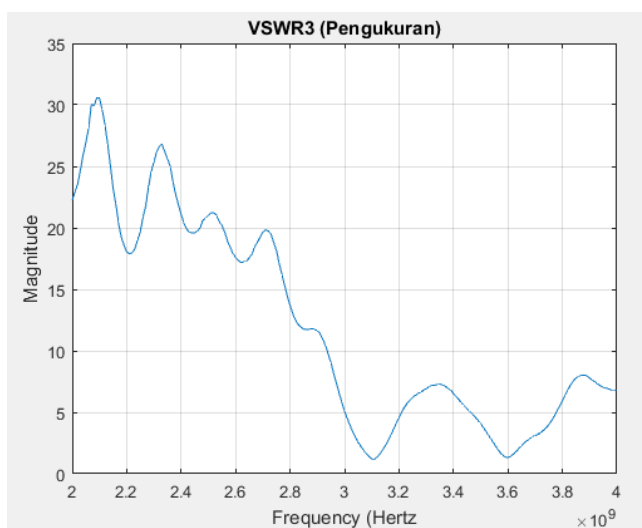
Hasil Pengukuran S31 Antena Array CBS



Hasil Pengukuran VSWR Elemen 1 Antena Array CBS

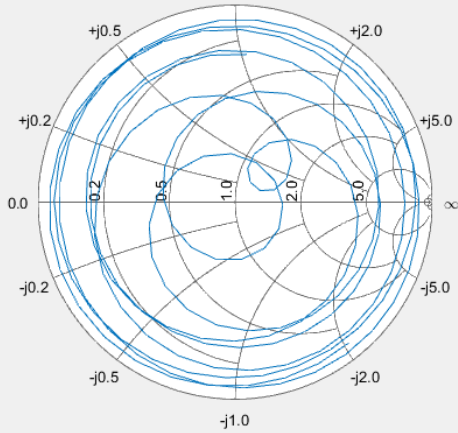


Hasil Pengukuran VSWR Elemen 2 Antena Array CBS



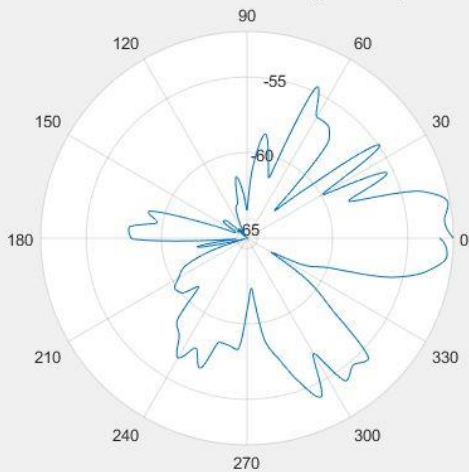
Hasil Pengukuran VSWR Antena Array CBS

IMPEDANSI INPUT ANTENA MIKROSTRIP ARRAY DENGAN CAVITY Z11

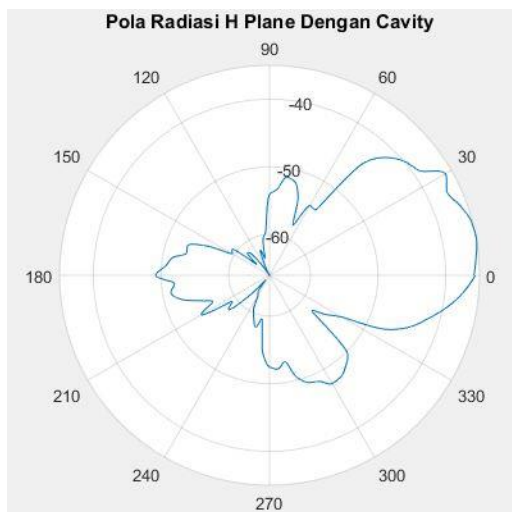


Hasil Pengukuran Impedansi Input Antena Array CBS

Pola Radiasi E Plane Dengan Cavity



Pola Radiasi E Plane Antena Array CBS



Pola Radiasi H *Plane* Antena Array CBS

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

RIWAYAT PENULIS



Ike Agustine Rintami lahir di Nganjuk pada tanggal 31 Juli 1994. Penulis mengenyam pendidikan dasar dan menengah pertama di Nganjuk dan menempuh pendidikan menengah atas di SMA Negeri 2 Kediri. Penulis melanjutkan jenjang pendidikannya di Jurusan D3 Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2012 dan lulus pada tahun 2015. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan sarjananya di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya ITS dan mengambil Telekomunikasi Multimedia sebagai bidang studi. Selama menempuh pendidikan di ITS, penulis aktif mengikuti kegiatan kemahasiswaan dan kegiatan akademik di laboratorisum sebagai Asisten Laboratorium. Penulis juga sempat mengikuti kegiatan pertukaran pelajar di Thailand.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]